

El Panorama de la carga inalámbrica industrial: Un análisis comparativo de Wiferion/PULS y sus competidores clave

Resumen ejecutivo

Este informe presenta un análisis exhaustivo del mercado de la carga inalámbrica para vehículos industriales, centrándose en la tecnología, el posicionamiento estratégico y el panorama competitivo de Wiferion (una marca de PULS) y sus principales rivales: WiTricity, WAVE Charging e InductEV. El análisis revela un mercado claramente segmentado en dos categorías de potencia principales. La primera, de baja a media potencia (1-12 kW), está orientada a Vehículos Guiados Automatizados (AGVs), Robots Móviles Autónomos (AMRs) y carretillas elevadoras, un dominio liderado por Wiferion/PULS. La segunda categoría, de alta potencia (125-500 kW+), se enfoca en vehículos comerciales pesados como autobuses y camiones portuarios, donde WAVE Charging e InductEV son los actores dominantes.

Tecnológicamente, la carga inductiva se ha consolidado como el estándar de facto para aplicaciones industriales debido a su alta eficiencia (superior al 90%) y su robustez, superando a la resonancia magnética en este nicho específico. WiTricity, aunque es un pionero en resonancia magnética, participa en este mercado principalmente a través de la concesión de licencias de propiedad intelectual, como lo demuestra su anterior acuerdo con Wiferion.

La reciente adquisición de Wiferion por parte de PULS, tras una breve tenencia por parte de Tesla, subraya el valor estratégico de esta tecnología. Esta maniobra consolida la posición de Wiferion en el mercado al dotarla de una capacidad de fabricación y una cadena de suministro globales, aprovechando la infraestructura de PULS. El paradigma operativo de la "carga en proceso" (*in-process charging*) se ha convertido en el principal impulsor de valor en el sector, permitiendo una mayor disponibilidad de la flota, la reducción del tamaño de las baterías y una mejora significativa del Coste Total de Propiedad (TCO).

El futuro del sector dependerá de la interoperabilidad impulsada por estándares como el SAE J2954, una integración más profunda con los Sistemas de Gestión de Baterías (BMS) y el software de gestión de flotas, y la continua innovación para aumentar los niveles de potencia y la eficiencia operativa.

Sección I: El paisaje de la transferencia de potencia

Inalámbrica Industrial

1.1. Evolución de la carga de vehículos industriales

La gestión de la energía para flotas de vehículos industriales ha experimentado una transformación significativa, impulsada por la creciente automatización en la logística y la fabricación. Históricamente, los métodos predominantes eran la carga manual por cable y el cambio de baterías, procesos que introducían ineficiencias operativas, costes de mano de obra y riesgos de seguridad. La evolución natural condujo a los sistemas de carga por contacto automatizado, que reducían la intervención humana pero seguían dependiendo de componentes mecánicos propensos al desgaste y al fallo.

El concepto de "carga de oportunidad" surgió como un paso intermedio crucial, permitiendo que los vehículos se recargaran varias veces durante sus turnos de trabajo en lugar de someterse a un ciclo de carga profundo y prolongado al final del día.¹ Esta estrategia mejoró la disponibilidad de los vehículos, pero la verdadera revolución llegó con la eliminación total de los contactos físicos. La carga inalámbrica representa la culminación de esta evolución, ofreciendo una solución totalmente automatizada que se alinea perfectamente con los objetivos de la Industria 4.0, donde la autonomía y la eficiencia son primordiales.²

1.2. El Paradigma de la "Carga en Proceso" (In-Process Charging)

La carga inalámbrica ha dado lugar a un cambio de paradigma operativo conocido como "carga en proceso" (*in-process charging*), un concepto promovido activamente por Wiferion/PULS.³ A diferencia de la carga de oportunidad, que a menudo todavía requiere que un vehículo se desvíe a una estación designada, la carga en proceso integra la transferencia de energía directamente en el flujo de trabajo operativo. Las estaciones de carga se instalan en puntos de parada naturales y breves dentro de la ruta del vehículo, como en las estaciones de carga y descarga de materiales, zonas de espera o puntos de transferencia.⁴

Este enfoque transforma la gestión de la energía de la flota de un modelo de "ciclo profundo" a uno de "pastoreo energético". En lugar de agotar la batería durante un turno y luego recargarla por completo, los vehículos reciben cargas cortas y frecuentes a alta potencia, manteniendo el estado de carga de la batería (SoC) en un nivel óptimo y constante durante todo el día.³ El proceso de carga se inicia automáticamente en menos de un segundo una vez que el vehículo está en posición, lo que permite aprovechar paradas de apenas unos segundos para una transferencia de energía eficiente.³

1.3. Beneficios estratégicos y operativos de la carga inalámbrica

La adopción de la carga inalámbrica, especialmente bajo el modelo de carga en proceso, genera beneficios tangibles que van más allá de la simple conveniencia. La automatización

total de la carga es un habilitador fundamental para la automatización completa de las operaciones logísticas. En un entorno de Industria 4.0, el objetivo es eliminar la intervención humana para maximizar la eficiencia. Mientras que los AGVs y AMRs automatizan el movimiento de materiales, la carga por cable o el cambio de baterías seguían siendo un cuello de botella que requería intervención humana o sistemas mecánicos complejos. La carga inalámbrica elimina este último eslabón, permitiendo que la gestión energética de la flota sea tan autónoma como la propia operación de los vehículos.² Esto desbloquea el potencial de las "fábricas del futuro", donde las flotas pueden operar en ciclos perpetuos sin interrupciones.

Los beneficios clave incluyen:

- **Aumento de la Productividad:** La eliminación de los tiempos de inactividad dedicados a la carga puede aumentar la disponibilidad de la flota hasta en un 30%, permitiendo una operación continua 24/7.⁵ Esto, a su vez, puede reducir el número total de vehículos necesarios para realizar las mismas tareas, optimizando la utilización de los activos.¹
- **Optimización de Baterías y Reducción de CAPEX:** Al mantener las baterías constantemente cargadas, ya no es necesario que tengan capacidad para un turno completo. Esto permite el uso de baterías más pequeñas, ligeras y económicas, lo que reduce el coste de capital inicial (CAPEX) de los vehículos.³
- **Reducción de OPEX:** Los costes operativos (OPEX) se reducen drásticamente al eliminar el mantenimiento asociado a los contactos mecánicos (desgaste, limpieza, oxidación), la sustitución de cables dañados y los costes de mano de obra para la conexión manual.² La ausencia de piezas móviles y contactos físicos aumenta la fiabilidad y la vida útil del sistema.⁹
- **Mejora de la Seguridad y Robustez:** Se eliminan los riesgos inherentes a los sistemas con contacto, como los arcos eléctricos, los tropiezos con cables y la exposición a entornos industriales agresivos con polvo o humedad.² Los sistemas de carga inalámbrica están completamente encapsulados y a menudo cuentan con certificaciones de protección IP65, lo que garantiza un funcionamiento fiable en cualquier condición.³

Sección II: Inmersión tecnológica: carga inductiva vs. resonancia magnética

2.1. Principios de Funcionamiento

El mercado de la carga inalámbrica se basa principalmente en dos tecnologías fundamentales con diferentes características de rendimiento:

- **Carga Inductiva (Acoplamiento Estrecho):** Esta es la tecnología más extendida en aplicaciones industriales. Se basa en la ley de inducción de Faraday, donde una bobina transmisora, alimentada por una corriente alterna, genera un campo magnético oscilante. Cuando una bobina receptora se coloca a corta distancia, este campo induce

una corriente en ella, transfiriendo energía.¹ Esta tecnología requiere un "acoplamiento estrecho", lo que significa que las bobinas deben estar muy cerca y relativamente bien alineadas para lograr una alta eficiencia.¹³

- **Carga por Resonancia Magnética (Acoplamiento Flexible):** Popularizada por empresas como WiTricity, esta tecnología utiliza dos bobinas diseñadas para resonar a la misma frecuencia electromagnética. Este fenómeno de resonancia permite que la energía se transfiera de manera eficiente a través de distancias mayores y con una tolerancia al desalineamiento significativamente mayor que la carga inductiva convencional.¹⁴

2.2. Arquitectura del Sistema

A pesar de sus diferencias, la arquitectura de ambos sistemas comparte componentes fundamentales. Una unidad de alimentación, a menudo llamada "wallbox", convierte la energía de la red eléctrica. Esta alimenta una bobina transmisora estacionaria, que puede estar montada en el suelo o en una pared. El vehículo está equipado con una bobina receptora y una unidad de electrónica de potencia a bordo. Esta última rectifica la corriente alterna inducida en la bobina receptora a corriente continua y la gestiona para cargar la batería de forma segura y eficiente.¹

2.3. Análisis Comparativo para Aplicaciones Industriales

Para el sector de vehículos industriales como AGVs y AMRs, la carga inductiva ha demostrado ser la tecnología dominante. Aunque la resonancia magnética ofrece una mayor flexibilidad espacial, esta ventaja es menos crítica en entornos industriales donde las rutas de los vehículos y los puntos de parada son predecibles y repetitivos. En este contexto, la mayor eficiencia y la mayor densidad de potencia de la carga inductiva a corta distancia son más valiosas.¹ Los sistemas inductivos modernos, como los de Wiferion, alcanzan una eficiencia de red a batería de hasta el 93%, un rendimiento que rivaliza con los sistemas de carga por cable de alta calidad y supera a muchas tecnologías de carga por contacto con deslizadores.³

Tabla 1: Comparativa de tecnologías de carga inalámbrica

| Parámetro | Carga Inductiva | Resonancia Magnética |
|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Principio Físico | Ley de Inducción de Faraday | Acoplamiento Resonante |
| Eficiencia Típica | >90% | 85-90% |
| Rango de Operación | Corto (centímetros) | Medio (cm a metros) |
| Tolerancia al Desalineamiento | Menor | Mayor |
| Complejidad del Sistema | Menor | Mayor |
| Coste Relativo | Menor | Mayor |
| Aplicaciones Ideales | AGVs, AMRs, Carretillas | EVs de consumo, Dispositivos |

| | | |
|--|------------|---------|
| | elevadoras | médicos |
|--|------------|---------|

Sección III: Perfil del líder del mercado: Wiferion (una marca de PULS)

3.1. Trayectoria corporativa y posicionamiento estratégico

Wiferion se ha establecido como el líder del mercado en el suministro de energía inalámbrica para vehículos industriales. Su historia comenzó en 2016 como un spin-off del prestigioso Instituto Fraunhofer para Sistemas de Energía Solar (ISE) de Alemania, lo que le proporcionó una base tecnológica sólida desde su fundación.²¹

La compañía ha experimentado una notable trayectoria corporativa que subraya el valor de su tecnología. En 2023, fue adquirida brevemente por Tesla, un movimiento que validó la relevancia de la carga inalámbrica industrial en la visión de los gigantes de la electrificación.²³ Poco después, el negocio operativo de Wiferion fue vendido a PULS, un líder mundial en fuentes de alimentación para carril DIN y aplicaciones industriales.²² Esta adquisición final es estratégicamente significativa, ya que PULS proporciona a Wiferion una escala de producción global, una cadena de suministro robusta y acceso a una base de clientes complementaria en los sectores de intralogística y automatización de fábricas.

Hoy, Wiferion, operando como una unidad de negocio de PULS, es el líder del mercado en su nicho, con más de 12,000 sistemas vendidos en más de 20 países y asociaciones con más de 100 fabricantes de equipos originales (OEMs) y proveedores de automatización.⁵

3.2. Análisis de la cartera de productos

La oferta de productos de Wiferion está diseñada para cubrir las diversas necesidades del sector industrial:

- **etaLINK 3000 y CW1000:** Son las soluciones principales para AGVs y AMRs, ofreciendo 3 kW y 1 kW de potencia, respectivamente. Se caracterizan por su diseño compacto, alta eficiencia y robustez, con certificación IP65 que los hace adecuados para entornos de producción exigentes.³
- **etaLINK 12000:** Es la solución de mayor potencia de la compañía, con 12 kW, dirigida a carretillas elevadoras y vehículos industriales más grandes que requieren corrientes de carga más altas.⁴
- **etaTRAY:** Una solución "plug-and-play" diseñada para la modernización de flotas de carretillas elevadoras existentes. Integra la electrónica de recepción inalámbrica y baterías de iones de litio en una bandeja de batería estandarizada, facilitando la

transición de la tecnología de plomo-ácido a la de litio con carga inalámbrica.²⁹

- **etaSTORE:** Wiferion complementa su oferta de carga con una línea de baterías optimizadas para la carga de oportunidad. Estas baterías utilizan químicas de Litio-Ferrofosfato (LFP) y Titanato de Litio (LTO), conocidas por su capacidad para aceptar altas corrientes de carga y su larga vida útil en ciclos.²⁹

3.3. Especificaciones técnicas y ventajas competitivas

La tecnología de Wiferion se distingue por varias características de rendimiento clave que constituyen su ventaja competitiva:

- **Eficiencia:** Con hasta un 93% de eficiencia de red a batería, sus sistemas son tan eficientes como los mejores sistemas de carga por cable.³
- **Velocidad de Inicio:** El proceso de carga se inicia a plena potencia en menos de un segundo después de que el vehículo se posiciona correctamente, maximizando el uso de paradas breves.³
- **Flexibilidad Operativa:** Los sistemas ofrecen una alta tolerancia al desalineamiento (por ejemplo, +/- 7 cm para el sistema de 12 kW) y permiten una aproximación omnidireccional, lo que simplifica el diseño de rutas y la operación de los AGVs.³
- **Interoperabilidad:** Un único sistema de carga puede alimentar diferentes tipos de vehículos con distintos voltajes y corrientes, funcionando como un sistema "One-4-All" que simplifica la infraestructura de carga en flotas heterogéneas.³
- **Comunicación Inteligente:** La integración de una interfaz CAN bus permite una comunicación fluida entre el cargador y el Sistema de Gestión de Baterías (BMS) del vehículo. Esto optimiza el perfil de carga para la salud de la batería y permite la transmisión de datos de estado y telemetría al sistema de gestión de la flota.¹⁹

Tabla 2: Especificaciones del Portfolio de Productos de Carga Wiferion/PULS

| Producto | Potencia Continua | Voltaje de Carga | Corriente de Carga | Eficiencia | Distancia Óptima | Tolerancia Posicional | Clase de Protección | Aplicación Principal |
|---------------|-------------------|------------------|--------------------|------------|------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|
| etaLINK 3000 | 3 kW | 15 – 60 V | 60 A | hasta 93% | 15 – 40 mm | +/- 30 mm | IP65/IP68 | AGVs / AMRs |
| etaLINK 12000 | 12 kW | 24 V | 400 A | hasta 93% | 15 – 40 mm | +/- 70 mm | IP65/IP68 | Carretillas elevadoras |
| CW1000 | 1 kW | N/A | N/A | hasta 93% | N/A | 40 mm | IP65 | Robots pequeños / CoBots |

Sección IV - Perfil de competidor: WiTricity

4.1. Modelo de Negocio y Estrategia de Mercado

WiTricity, un spin-off del MIT, ocupa una posición única en el panorama de la carga inalámbrica. En lugar de fabricar y vender sistemas de carga completos, su modelo de negocio se centra en la investigación, el desarrollo y la concesión de licencias de su vasta cartera de propiedad intelectual en tecnología de resonancia magnética.¹⁴ Esta cartera se vio significativamente reforzada con la adquisición de los activos de Qualcomm Halo, añadiendo más de 1,000 patentes y convirtiendo a Qualcomm en un accionista minoritario.¹⁴

El enfoque principal de WiTricity es el mercado de vehículos eléctricos de pasajeros (EVs), donde la comodidad y la flexibilidad de aparcamiento son cruciales. Ha establecido asociaciones con nueve de los diez principales fabricantes de automóviles del mundo y su tecnología se ha integrado en vehículos de producción como el BMW 530e iPerformance y el Hyundai Genesis GV60.¹⁴ Su entrada en el mercado industrial se produce principalmente a través de acuerdos de licencia estratégicos. Un ejemplo notable fue el acuerdo de 2022 con Wiferion, que permitió a este último utilizar la tecnología patentada de WiTricity para aplicaciones industriales, combinando la flexibilidad de la resonancia magnética con la experiencia de Wiferion en el sector.¹⁴

4.2. Tecnología de Resonancia Magnética

La tecnología de WiTricity se basa en la "resonancia magnética de alto acoplamiento". Este método permite una transferencia de energía eficiente a través de una variedad de materiales no conductores como el cemento, el asfalto o la madera, y ofrece una mayor tolerancia al desalineamiento vertical y horizontal en comparación con la carga inductiva tradicional.¹⁴ La compañía reporta una eficiencia de extremo a extremo superior al 90% y sus sistemas son escalables, con niveles de potencia que van desde 3.6 kW para vehículos de pasajeros hasta cientos de kilovatios para vehículos pesados como autobuses.¹⁴

4.3. Papel en la Estandarización

Un pilar de la estrategia de WiTricity es su papel activo en la promoción de estándares globales para la carga inalámbrica. La compañía ha sido una fuerza impulsora detrás del desarrollo de

la norma SAE J2954 de SAE International.¹⁴ Este estándar es fundamental para garantizar la interoperabilidad entre vehículos y estaciones de carga de diferentes fabricantes, un requisito previo para la adopción masiva de la tecnología tanto en el sector de consumo como en el comercial.

El posicionamiento de WiTricity no es el de un competidor directo de Wiferion en la venta de hardware industrial, sino más bien el de un habilitador del ecosistema. Su estrategia de licenciar su propiedad intelectual, incluso a competidores en nichos específicos, demuestra un enfoque pragmático para monetizar su tecnología mientras impulsa la estandarización que beneficia a toda la industria. Su influencia es, por tanto, más estratégica y de configuración del mercado que competitiva a nivel de producto en el segmento de AGVs.

Sección V – Perfil de Competidor: WAVE Charging

5.1. Enfoque en el Mercado de Alta Potencia

WAVE Charging (Wireless Advanced Vehicle Electrification), una filial de Ideanomics, se ha posicionado como un especialista en el segmento de carga inalámbrica de alta potencia.³⁹ A diferencia de Wiferion, cuyo enfoque principal son las aplicaciones de menor potencia, WAVE se concentra en vehículos comerciales medianos y pesados. Su cartera de productos ofrece sistemas que van desde 125 kW hasta 500 kW, con planes de desarrollo para alcanzar 1 MW en el futuro.³⁹ Sus mercados objetivo incluyen el tránsito masivo (autobuses eléctricos), puertos (camiones de patio y manipuladores de contenedores) y camiones de Clase 8 para logística.³⁹

5.2. Tecnología y despliegues

La tecnología de WAVE se basa en almohadillas de carga inductiva de un solo pad, diseñadas para ser embebidas en el pavimento. Esta configuración robusta no tiene partes móviles, lo que garantiza una alta fiabilidad y un mantenimiento mínimo, incluso en condiciones climáticas adversas.¹⁰

La compañía ha acumulado una experiencia considerable a través de despliegues significativos en el mundo real. Uno de sus proyectos más notables es la electrificación de la flota de autobuses de la Antelope Valley Transit Authority (AVTA) en California, la flota de autobuses eléctricos más grande de EE. UU. que utiliza carga inalámbrica.⁴⁰ Además, WAVE está llevando a cabo varios proyectos en el Puerto de Los Ángeles para alimentar tractores de patio y manipuladores de contenedores.¹⁰ En una colaboración clave con Cummins y el Departamento de Energía de EE. UU., WAVE ha desarrollado y probado con éxito un sistema de 500 kW capaz de cargar completamente un camión eléctrico de Clase 8 en menos de 15 minutos.³⁹

5.3. Especificaciones técnicas clave

- **Niveles de Potencia:** 125 kW, 250 kW, 380 kW y 500 kW.¹⁰
- **Eficiencia de Transferencia:** Hasta un 92%, según un informe del Idaho National Laboratory.⁴⁰
- **Distancia de Carga (Air Gap):** El sistema está diseñado para operar eficientemente con una separación vertical de 5 a 8 pulgadas (aproximadamente 127 a 203 mm) entre la almohadilla del suelo y el receptor del vehículo.⁴¹

Sección VI – Perfil de competidor: InductEV

6.1. Soluciones Modulares y Escalables

InductEV se presenta como un competidor directo y formidable de WAVE en el segmento de carga inalámbrica de alta potencia para flotas comerciales. La compañía ofrece una plataforma de hardware modular que puede escalar desde 50-75 kW (con una sola almohadilla) hasta 450 kW o más mediante la combinación de múltiples almohadillas.¹⁸ Al igual que WAVE, su mercado objetivo son las flotas de alto uso, como autobuses de tránsito, vehículos portuarios y camiones de distribución.⁴⁵

6.2. Sinergia de hardware y software

Un diferenciador clave en la estrategia de InductEV es la estrecha integración de su hardware de carga con una plataforma de software propia llamada InductAI.⁴⁵ Este software de gestión de energía y cargadores va más allá de la simple transferencia de potencia. Permite una gestión inteligente de la carga de la flota, optimizando los horarios de carga en función de la disponibilidad de energía renovable, las tarifas eléctricas variables de la red y las necesidades operativas en tiempo real. Este enfoque holístico tiene como objetivo reducir significativamente los costes operativos (OpEx) y el Coste Total de Propiedad (TCO) para los operadores de flotas.⁴⁹

6.3. Especificaciones técnicas y despliegues

- **Niveles de Potencia:** Sistemas modulares que van desde 75 kW (una almohadilla) hasta 450 kW+ (seis almohadillas).¹⁸
- **Eficiencia de Transferencia:** La compañía reporta una eficiencia de transmisión de la

red a la batería superior al 90%, comparable a la de la carga por cable.⁴⁵

- **Despliegues Notables:** InductEV cuenta con una creciente lista de despliegues de alto perfil, incluyendo un proyecto piloto con taxis Volvo en Suecia, la electrificación de la flota de autobuses de Sound Transit en Seattle, y proyectos en el Puerto de Long Beach.⁴⁵

La competencia en el segmento de flotas pesadas entre WAVE e InductEV no se limita a una carrera por alcanzar mayores niveles de potencia. Ambas compañías ofrecen sistemas de alta potencia con especificaciones de eficiencia y robustez muy similares. La diferenciación se está desplazando hacia la creación de un ecosistema de soluciones completo. InductEV compite con su plataforma de software InductAI, que promete una gestión energética más inteligente y una reducción del TCO. WAVE, por su parte, ha forjado alianzas estratégicas con importantes OEMs de camiones como Kenworth y proveedores de sistemas como Dana, facilitando la integración de fábrica de su tecnología.³⁹ El éxito en este mercado no dependerá solo del hardware, sino de quién ofrezca la solución más integrada, que abarque software, facilidad de integración con los vehículos y optimización de la interacción con la red eléctrica.

Sección VII - Análisis comparativo y benchmarking de rendimiento

7.1. Comparación Directa de las Ofertas de los Principales Actores

Para proporcionar una visión clara del panorama competitivo, la siguiente tabla resume las características clave de los cuatro actores analizados. La tabla no solo destaca las especificaciones técnicas, sino también el enfoque de mercado y el modelo de negocio, que son cruciales para entender el posicionamiento estratégico de cada empresa.

Tabla 3: Panorama Competitivo - Especificaciones Técnicas y de Mercado

| Característica | Wiferion/PULS | WiTricity | WAVE Charging | InductEV |
|--------------------------------------|-----------------------------|------------------------|--|---|
| Tecnología Principal | Inductiva | Resonancia Magnética | Inductiva | Inductiva |
| Rango de Potencia | 1 kW – 12 kW | 3.6 kW – Cientos de kW | 125 kW – 500 kW+ | 75 kW – 450 kW+ |
| Eficiencia (Red a Batería) | ~93% | >90% | ~92% | >90% |
| Tolerancia al Desalineamiento | Alta (ej. +/- 7 cm @ 12 kW) | Muy Alta | Alta (ej. 127-203 mm air gap) | Alta |
| Mercado Objetivo Principal | AGVs, AMRs, Carretillas | EVs de Pasajeros | Vehículos Pesados (Autobuses, Puertos) | Flotas Comerciales (Autobuses, Puertos) |

| | | | | |
|-------------------|-------------------|----------------|-------------------|------------------------------|
| Modelo de Negocio | Venta de Sistemas | Licencia de IP | Venta de Sistemas | Venta de Sistemas y Software |
|-------------------|-------------------|----------------|-------------------|------------------------------|

7.2. Análisis de fortalezas y debilidades por segmento de aplicación

El análisis comparativo revela una clara especialización y segmentación del mercado:

- **Logística y Fabricación (AGVs/AMRs):** Este segmento está claramente dominado por Wiferion/PULS. Sus productos están específicamente diseñados para las necesidades de este mercado: son compactos, altamente eficientes y ofrecen la potencia adecuada (1-3 kW) para la mayoría de AGVs y AMRs. Su enfoque en la "carga en proceso" y la interoperabilidad "One-4-All" les confiere una ventaja competitiva decisiva.³
- **Transporte Público y Puertos (Vehículos Pesados):** Aquí la competencia es intensa entre WAVE Charging e InductEV. Ambas compañías han demostrado capacidades de muy alta potencia y cuentan con despliegues exitosos que validan su tecnología.⁴⁰ La elección entre ellas puede depender de factores secundarios: InductEV ofrece una ventaja potencial a través de su plataforma de software inteligente InductAI, mientras que WAVE puede tener una ventaja en la integración gracias a sus alianzas con OEMs de vehículos pesados.
- **Automoción de Consumo:** Este es el dominio principal de WiTricity. Su tecnología de resonancia magnética es ideal para la experiencia del usuario de EVs de pasajeros, donde la facilidad de aparcamiento y la flexibilidad son más importantes que la máxima densidad de potencia. Su modelo de negocio basado en licencias de propiedad intelectual y su papel en la estandarización la posicionan como un actor central en este mercado masivo.¹⁴

Sección VIII – El Ecosistema Ampliado: Baterías, BMS y Estandarización

8.1. Sinergia con la Tecnología de Baterías

La eficacia de un sistema de carga inalámbrica está intrínsecamente ligada a la tecnología de la batería que carga. El paradigma de la carga de oportunidad y en proceso, con sus ciclos de carga cortos y de alta corriente, requiere químicas de batería específicas. Las baterías de Litio-Ferrofosfato (LFP) y, en particular, las de Titanato de Litio (LTO) son ideales para este fin. Se

caracterizan por su capacidad para soportar altas tasas de carga (C-rates) y un número extremadamente elevado de ciclos de carga con una degradación mínima.³²

La estrategia de carga también tiene un impacto directo en la longevidad de la batería. Las prácticas que mantienen el estado de carga (SoC) dentro de un rango óptimo, típicamente entre el 20% y el 80%, reducen el estrés en las celdas y pueden extender significativamente la vida útil de la batería en comparación con los ciclos completos de carga y descarga.⁵² Proveedores como Wiferion ofrecen soluciones de batería integradas, como su línea etaSTORE, que están diseñadas para funcionar en sinergia con sus sistemas de carga.

Tabla 4: Especificaciones de las Baterías etaSTORE de Wiferion

| Modelo | Química | Voltaje Nominal | Capacidad Nominal | Tasa de Carga (C-rate) | Ciclos de Vida | Aplicación Óptima |
|-------------------------|--------------------|-----------------|-------------------|------------------------|----------------|----------------------------------|
| etaSTORE LFP | Litio-Ferrofosfato | 25.6 V | 21 Ah | hasta 2C | >7,500 | Uso continuo |
| etaSTORE LTO | Titanato de Litio | 25.3 V | 22 Ah | hasta 5C | >17,000 | Alta frecuencia de ciclos |
| DISCOVERB attery | LiFePO4 | 24V / 48V | 60 Ah / 30 Ah | hasta 1C | >3,000 | Aplicaciones de alto rendimiento |

8.2. El Papel Crítico del Sistema de Gestión de Baterías (BMS)

El Sistema de Gestión de Baterías (BMS) actúa como el "cerebro" de la batería. Es un sistema electrónico que monitoriza continuamente parámetros vitales como el voltaje de cada celda, la corriente de carga/descarga y la temperatura. Su función principal es garantizar que la batería opere dentro de sus límites seguros, protegiéndola contra sobrecargas, descargas profundas y sobrecalentamiento.⁵⁵

En un sistema de carga inalámbrica, la comunicación entre el BMS y el cargador es fundamental. Protocolos de comunicación estándar en la industria, como el CAN bus, permiten que el cargador y el BMS intercambien información en tiempo real. Esto posibilita la implementación de perfiles de carga sofisticados (por ejemplo, fases de corriente constante y voltaje constante) que optimizan la velocidad de carga sin comprometer la salud y la longevidad de la batería.²⁰ Una tendencia emergente es el desarrollo de BMS inalámbricos (wBMS), que utilizan protocolos como Bluetooth o Wi-Fi para comunicarse, eliminando aún más el cableado, reduciendo el peso del paquete de baterías y simplificando el diseño y el mantenimiento.⁵⁵

8.3. La Importancia de la Estandarización (SAE J2954)

Para la adopción generalizada de la carga inalámbrica, la estandarización es indispensable. El estándar SAE J2954, desarrollado por SAE International, es el marco normativo más importante para garantizar la interoperabilidad entre vehículos y estaciones de carga de diferentes fabricantes.⁶³

El estándar define varios niveles de potencia para vehículos ligeros (WPT1 a 3.7 kW, WPT2 a 7 kW y WPT3 a 11 kW) y establece protocolos de comunicación y seguridad. De particular relevancia para el sector industrial pesado es el desarrollo de la norma complementaria SAE J2954/2, que aborda los requisitos para vehículos pesados con niveles de potencia de hasta 500 kW, un área en la que compiten WAVE e InductEV.⁶³ La adopción de estos estándares reducirá la fragmentación del mercado y dará a los operadores de flotas la confianza para invertir en infraestructuras de carga que serán compatibles con una amplia gama de vehículos en el futuro.

Sección IX: Perspectivas estratégicas y visión de futuro

9.1. Análisis de la Consolidación del Mercado

La adquisición de Wiferion por parte de PULS es un claro indicador de la madurez y el valor estratégico del mercado de la carga inalámbrica industrial. Esta consolidación, que traslada una tecnología de nicho innovadora al portfolio de un actor industrial global, valida la viabilidad comercial de la carga inalámbrica y sienta las bases para una adopción a mayor escala.⁵ Se espera que esta tendencia continúe, con una mayor estandarización de los componentes y una reducción de los costes de producción a medida que la tecnología se masifique y se aprovechen las economías de escala.

9.2. Tendencias tecnológicas emergentes

El futuro de la carga inalámbrica industrial estará marcado por tres tendencias clave:

1. **Aumento de la Potencia y la Eficiencia:** La demanda de tiempos de carga más rápidos, especialmente para vehículos más grandes como las carretillas elevadoras y los camiones de patio, seguirá impulsando la innovación hacia niveles de potencia superiores a los 12 kW en el segmento de Wiferion y por encima de los 500 kW en el de WAVE e InductEV. La investigación continua en electrónica de potencia y diseño de bobinas buscará mejorar aún más la eficiencia de la transferencia de energía.
2. **Integración de Software e Inteligencia Artificial:** La gestión de la energía se volverá tan

importante como la transferencia de la misma. Plataformas de software como InductAI de InductEV son pioneras en una tendencia hacia sistemas de carga inteligentes.⁴⁵ Estos sistemas utilizarán la IA para optimizar la carga en tiempo real, teniendo en cuenta factores como los precios de la electricidad en la red, la disponibilidad de energías renovables, el estado de la flota y las demandas operativas, con el fin de minimizar el TCO.

3. **Estandarización e Interoperabilidad Global:** La adopción generalizada de estándares como SAE J2954 será crucial. A medida que las flotas se vuelvan más heterogéneas, la capacidad de cualquier vehículo para cargar en cualquier estación será un requisito no negociable. La estandarización reducirá la incertidumbre para los compradores y fomentará un ecosistema competitivo y abierto.⁶⁴

9.3. Recomendaciones Estratégicas

- **Para Fabricantes de Vehículos (OEMs):** Se recomienda una colaboración temprana y profunda con los proveedores de tecnología de carga inalámbrica. La integración nativa de los componentes de recepción en el diseño de los vehículos desde el principio es más eficiente y rentable que las soluciones de modernización. La participación activa en los comités de estandarización es vital para asegurar que los futuros productos sean compatibles a nivel global.
- **Para Operadores Logísticos y de Flotas:** La evaluación de la carga inalámbrica debe basarse en un análisis exhaustivo del Coste Total de Propiedad (TCO). Este análisis debe ir más allá del coste de adquisición inicial y cuantificar los ahorros a largo plazo en costes operativos (mantenimiento, mano de obra), la posible reducción del tamaño de la flota debido a una mayor disponibilidad y la extensión de la vida útil de las baterías. La selección de un proveedor debe alinearse con el segmento de aplicación (baja potencia para AMRs vs. alta potencia para camiones) y la madurez de su ecosistema de soporte (software, servicio, alianzas OEM).
- **Para Inversores:** El mercado de la carga inalámbrica industrial se encuentra en una fase de crecimiento y consolidación, lo que presenta oportunidades de inversión atractivas. Estas oportunidades no se limitan a los fabricantes de hardware de carga. El ecosistema de apoyo, que incluye empresas de software de gestión de energía, desarrolladores de BMS avanzados (especialmente wBMS) y especialistas en integración de sistemas, también representa áreas de inversión con un alto potencial de crecimiento.

Obras citadas

1. AGV Wireless Charging: Manufacturers? Cost? Advantages?, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.agvnetwork.com/wireless-charging-for-agv-and-autonomous-mobile-robots>
2. Wireless AGV and AMR charging: what to know - Robotics and Automation,

fecha de acceso: agosto 1, 2025,

<https://www.roboticsandautomationmagazine.co.uk/news/agvs/wireless-agv-and-amr-charging-what-to-know.html>

3. Wireless charging for AGV (automated guided vehicle) - Wiferion, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.wiferion.com/en/applications/wireless-charging-agv-automated-guided-vehicle-systems/>
4. FAQ - etaLINK wireless charging system - Wiferion, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.wiferion.com/en/faq/faq-etalink/>
5. Wireless Charging & Energy Systems | Wiferion - a PULS brand, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.pulspower.com/applications/wiferion-wireless-charging-energy-systems/>
6. Industrial wireless charging & power solutions - Wiferion, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.wiferion.com/us/>
7. Inductive charging of AGVs: Enhancing productivity for mobile robots - SAFELOG GmbH EN, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.safelog.de/en/inductive-charging-agv/>
8. Efficient intralogistics through standardization and interoperability | Wiferion, fecha de acceso: agosto 1, 2025, [https://www.wiferion.com/wp-content/uploads/efficient intralogistics through standardization and interoperability-wiferion synaos item.pdf?utm_source=website&utm_medium=interop-download-site&utm_campaign=interop](https://www.wiferion.com/wp-content/uploads/efficient_intralogistics_through_standardization_and_interoperability-wiferion_synaos_item.pdf?utm_source=website&utm_medium=interop-download-site&utm_campaign=interop)
9. AMR AGV Inductive Wireless Charging System | OEM ODM - one pointech, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://onepointech.com/industrial-wireless-charging/>
10. WAVE hello to wireless charging for commercial EVs - E-Mobility Engineering, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.emobility-engineering.com/wave-wireless-charging-commercial/>
11. Wireless Charging Technology- Inductive, Resonant, Radio Frequency And Others, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://onepointech.com/wireless-charging-technology/>
12. (PDF) Overview of Inductive Wireless Charging - ResearchGate, fecha de acceso: agosto 1, 2025, [https://www.researchgate.net/publication/384059443 Overview of Inductive Wireless Charging](https://www.researchgate.net/publication/384059443_Overview_of_Inductive_Wireless_Charging)
13. Types Of Wireless Charging Technologies: Inductive Vs. Resonant Charging - ONext, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://onextmonitor.com/blog/inductive-vs-resonant-charging/>
14. WiTricity - Wikipedia, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/WiTricity>
15. Infographic: Inductive VS Resonant Charging - EE World Online, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.eeworldonline.com/infographic-inductive-vs-resonant-charging/>
16. A Witricity-Based High-Power Device for Wireless Charging of Electric Vehicles, fecha de acceso: agosto 1, 2025,

- https://www.researchgate.net/publication/314301410_A_Witricity-Based_High-Power_Device_for_Wireless_Charging_of_Electric_Vehicles
17. Highly Resonant Wireless Power Transfer: Safe, Efficient, and Over Distance, fecha de acceso: agosto 1, 2025, https://7144078.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/7144078/white-papers/WiTricity_Highly-Resonant-Wireless-Power-Transfer.pdf
 18. Hardware - Induct EV, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.inductev.com/hardware>
 19. Wireless power transfer - Wiferion, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.wiferion.com/us/wireless-power-transfer/>
 20. etaLINK 3000 – contactless, inductive charging with 3 kW - Wiferion, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.wiferion.com/en/products/etalink-3000-inductive-charging-with-3-kw/>
 21. The Company behind the wireless charging system - Wiferion, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.wiferion.com/us/company/>
 22. PULS buys high power wireless charging specialist Wiferion from Tesla - eeNews Europe, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.eenewseurope.com/en/puls-buys-high-power-wireless-charging-specialist-wiferion-from-tesla/>
 23. Tesla Acquires Wiferion | Hertz Electric Vehicles, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.hertz.com/us/en/blog/electric-vehicles/tesla-acquires-wiferion>
 24. Tesla Acquires A Wireless Charging Startup - InsideEVs, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://insideevs.com/news/680401/tesla-acquires-wiferion/>
 25. Tesla Acquires Wireless Charging Firm Wiferion - CleanTechnica, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://cleantechnica.com/2023/08/02/tesla-acquires-wireless-charging-firm-wiferion/>
 26. Tesla completes acquisition of wireless charging company Wiferion - Future Farming, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/tesla-completes-acquisition-of-wireless-charging-company-wiferion/>
 27. PULS acquires the business of Wiferion, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.wiferion.com/en/news/puls-acquires-the-business-of-wiferion/>
 28. Wiferion will sell its wireless charging business to PULS - DC Velocity, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.dcvelocity.com/articles/58830-wiferion-will-sell-its-wireless-charging-business-to-puls>
 29. Wiferion Products - Inductive Charging Systems & Batteries, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.wiferion.com/en/products/>
 30. Etalink 12000 | Storage Batteries | Wiferion - Plant automation technology, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.plantautomation-technology.com/products/wiferion/etalink-12000>
 31. Inductive forklift battery charging and batterytray: etaTRAY - Wiferion, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.wiferion.com/en/products/inductive-forklift-battery-charging-batterytray-etatray/>
 32. Lithium batteries for AGV (automated guided vehicles) & industrial trucks:

etaSTORE, fecha de acceso: agosto 1, 2025,

<https://www.wiferion.com/en/products/batteries-for-industrial-trucks-automated-guided-vehicles-etastore/>

33. Neue Batterien für AGV / FTS & Flurförderzeuge: etaSTORE - Wiferion, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.wiferion.com/produkte/new-batterien-for-agv-fts-flurfoerderzeuge-etastore/>
34. Discover - Mobil Robot Battery for AGV & AMR - 24V & 48V - Wiferion, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.wiferion.com/fr/produit/discover-mobil-robot-battery-agv-amr-24v-48v/>
35. LD Wireless Charging Technical Guide - Omron Europe, fecha de acceso: agosto 1, 2025, https://files.omron.eu/downloads/latest/manual/en/25230-000_Ld_wireless_charging_technical_guide_technical_manual_en.pdf?v=2
36. In Ground Wireless Charging in the Future? : r/electricvehicles - Reddit, fecha de acceso: agosto 1, 2025, https://www.reddit.com/r/electricvehicles/comments/19aj960/in_ground_wireless_charging_in_the_future/
37. Wireless Charging, fecha de acceso: agosto 1, 2025, https://www.st.com/content/ccc/resource/sales_and_marketing/presentation/product_presentation/group0/5a/b1/8e/6c/2b/0d/46/3c/Apec/files/APEC_2016_SiC_%20Wtricity_Wireless_Charging.pdf/_jcr_content/translations/en.APEC_2016_SiC_%20Wtricity_Wireless_Charging.pdf
38. New Chinese wireless charging standard incorporates WiTricity's technology, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://chargedevs.com/newswire/new-chinese-wireless-charging-standard-incorporates-witricitys-technology/>
39. Wave installs inductive charging solution in a Kenworth electric truck - electrive.com, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.electrive.com/2024/01/27/wave-installs-inductive-charging-solution-in-a-kenworth-electric-truck/>
40. WAVE Wireless EV Charging - Transit, Port, Warehouse & Distribution, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://wavecharging.com/>
41. WAVE inductive charging purpose built for large EVs - SAE International, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.sae.org/news/2022/05/wave-inductive-charging-purpose-built-for-large-evs>
42. Ports - Wave Wireless Charging, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://wavecharging.com/products/wireless/ports/>
43. Park & Charge: High-Power Inductive Wireless Charging Set to Power Electric Trucks in Cold Climates | New Equipment Digest, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.newequipment.com/industry-trends/article/21280731/park-charge-high-power-inductive-wireless-charging-set-to-power-electric-trucks-in-cold-climates>
44. WAVE Charging, Venture Logistics, and Cummins Inc participates in demonstration of high-power, ultra-fast 500kW wireless charging system to power electric trucks, fecha de acceso: agosto 1, 2025,

- <https://wavecharging.com/wave-charging-venture-logistics-and-cummins-inc-participates-in-demonstration-of-high-power-ultra-fast-500kw-wireless-charging-system-to-power-electric-trucks/>
45. Induct EV, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.inductev.com/>
 46. Review and Evaluation of Automated Charging Technologies for Heavy-Duty Vehicles, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.mdpi.com/2032-6653/15/6/235>
 47. CONFIDENTIAL & PROPRIETARY, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.aapa-ports.org/files/InductEV%20AAPA%20Presentation%20-%20May%202024.pdf>
 48. InductEV to deploy wireless charging technology at ITS - WorldCargo News, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.worldcargonews.com/environment/2025/01/inductev-to-deploy-wireless-charging-technology-at-its/>
 49. InductEV Answers Your Wireless EV Charging Questions - CleanTechnica, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://cleantechnica.com/2025/03/31/inductev-answers-your-wireless-ev-charging-questions/>
 50. InductEV - Electric Vehicle Charging & Infrastructure, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.evcandi.com/inductev>
 51. TIME Selects InductEV's Wireless EV Charging Solution as a 2024 Best Invention in the Sustainability Category, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.inductev.com/press-releases/time-selects-inductevs-wireless-ev-charging-solution-as-a-2024-best-inventionin-the-sustainability-category>
 52. Can LFP batteries save the day ? - Jiangxi JingJiu Power Science& Technology Co.,LTD, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.kijo-battery.com/can-lfp-batteries-save-the-day.html>
 53. Understanding the Impact of Full Charging on Lithium Battery Life, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.large-battery.com/blog/tolerance-to-full-charge-lithium-battery/>
 54. "Opportunity charging is a valid charging method for warehouses with 3 shifts" plus "How can you properly water a battery if you don't let it charge all the way up ever?" equals: : r/forkliftmemes - Reddit, fecha de acceso: agosto 1, 2025, https://www.reddit.com/r/forkliftmemes/comments/1bi5i46/opportunity_charging_is_a_valid_charging_method/
 55. Wireless Battery Management Systems: Powering the Future of Electric Vehicles - AYAA TECHNOLOGY CO., LTD, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.ayaatech.com/ja/news/wireless-battery-management-systems-powering-the-future-of-electric-vehicles/>
 56. Mastering BMS Communication - Number Analytics, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.numberanalytics.com/blog/ultimate-guide-bms-communication-protocols>
 57. What is BMS Communication? - News, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.dalybms.com/news/what-is-bms-communication/>

58. Integration of BMS Communication with Other Systems - Monolithic Power Systems, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.monolithicpower.com/en/learning/mpscholar/battery-management-systems/bms-communication-interface/integration-of-bms-communication>
59. Review of the Charging System and Communication Protocols of the Electric Vehicles Elektrikli Araç Şarj ve Haberleşme Protoko - DergiPark, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3611111>
60. Automotive Battery Management Systems - Analog Devices, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.analog.com/en/solutions/automotive/electrification-and-powertrain/battery-management-systems-bms.html>
61. Wireless Battery Management Systems: Innovations, Challenges, and Future Perspectives, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/13/3277>
62. Low Power Modular Battery Management System with a Wireless Communication Interface, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/19/6320>
63. SAE J2954 - Wikipedia, fecha de acceso: agosto 1, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J2954
64. SAE Wireless Charging Standard for EVs - SAE International, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.sae.org/news/2020/10/new-sae-wireless-charging-standard-is-ev-game-changer>
65. Wireless Power Transfer for Light and Medium Duty Vehicles J2954 - SAE International, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.sae.org/standards/content/j2954/>
66. Wireless Power Transfer for Light-Duty Plug-in/Electric Vehicles and Alignment Methodology J2954_202010 - SAE International, fecha de acceso: agosto 1, 2025, https://www.sae.org/standards/content/j2954_202010/
67. Wireless Power Transfer for Heavy-Duty Electric Vehicles J2954/2 - SAE International, fecha de acceso: agosto 1, 2025, <https://www.sae.org/standards/content/j2954/2/>
68. Wireless Power Transfer for Light-Duty Plug-in/Electric Vehicles and Alignment Methodology J2954_202408 - SAE International, fecha de acceso: agosto 1, 2025, https://www.sae.org/standards/content/j2954_202408/