

Observatorio de
Transición Justa
de Asturias



Principado de
Asturias



La conexión de Coches Eléctricos y Redes Inteligentes

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN. 6
2. ¿QUÉ SON LAS REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES Y POR QUÉ SE ESTÁN IMPLEMENTANDO?. 7
3. ¿QUÉ PAPEL JUEGA EL VEHÍCULO ELÉCTRICO DENTRO DE UNA RED INTELIGENTE?. 8
3.1 ¿QUÉ TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EXISTEN?. 8
3.1.1 ¿QUÉ ES UN BEV Y COMO SE INTEGRA EN LA RED?. 8
3.1.2 ¿QUÉ ES UN PHEV Y QUE AUTONOMÍA E INTEGRACIÓN OFRECE?. 9
3.1.3 ¿QUÉ ES UN HEV?. 11
3.1.4 ¿QUÉ ES UN FCEV Y CÓMO SE RELACIONA CON LAS REDES INTELIGENTES?. 11
3.2 ¿CÓMO ESTÁ FORMADA LA ARQUITECTURA ELÉCTRICA DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO? 13
4. ¿EN QUÉ CONSISTE LA TECNOLOGÍA V2L?. 14
4.1 ¿CUÁLES SON LOS FUNDAMENTOS TÉCNICOS DEL V2L?. 14
4.2 ¿EN QUÉ SE DIFERENCIAN EL V2L, V2H Y V2G? 14
4.3 ¿QUÉ SOLUCIONES TECNOLÓGICAS EXISTEN HOY PARA EL V2L?. 15
4.4 ¿QUÉ MARCAS Y MODELOS OFRECEN V2L EN EL MERCADO ACTUAL?. 16
4.5 ¿CUÁLES SON LAS LIMITACIONES TÉCNICAS DEL V2L? 17
5. ¿CÓMO SE INTEGRA EL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA RED ELÉCTRICA?. 18
5.1 ¿QUÉ IMPACTO TIENE LA CARGA MASIVA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA RED? . 18
5.1.1 ¿CUÁL ES LA NATURALEZA TÉCNICA DE ESE IMPACTO?. 19
5.1.2 ¿QUÉ ES LA SATURACIÓN DE ACCESO Y COMO SE PRODUCE?. 19
5.1.3 ¿CÓMO SE PUEDE REPARTIR LA CARGA EN EL TIEMPO?. 20
5.1.4 ¿QUÉ FACTORES AGRAVAN O ATENÚAN ESTE IMPACTO EN EL CONTEXTO ASTURIANO?. 21
5.1.5 ¿QUÉ CASOS INTERNACIONALES SIRVEN DE REFERENCIA?. 21
5.2 GESTIÓN INTELIGENTE DE LA DEMANDA. 22
5.2.1 ¿QUÉ NIVELES DE GESTIÓN DE CARGA EXISTEN?. 22
5.2.2 ¿QUÉ TECNOLOGÍAS HABILITAN ESTA GESTIÓN?. 22
5.2.3 ¿QUÉ ESTRATEGIAS DE OPTIMIZACIÓN SE APLICAN?. 23
5.2.4 ¿CUÁLES SON LOS BENEFICIOS Y LIMITACIONES TIENE ESTA GESTIÓN?. 23
5.2.5 ¿QUÉ PROTOCOLOS Y ESTÁNDARES SE UTILIZAN?. 24

5.3 ¿QUÉ ES UN AGREGADOR DE ENERGÍA Y QUE FUNCIÓN CUMPLE?. 24
5.3.1 ¿QUÉ ESTABLECE EL NUEVO MARCO REGULATORIO DE 2026?. 25
5.3.2 ¿EN QUÉ SE DIFERENCIAN LOS AGREGADORES DE GENERACIÓN, ALMACENAMIENTO Y DEMANDA?..... 25
5.4 ¿QUÉ ES LA RESPUESTA DE LA DEMANDA APLICADA AL VEHÍCULO ELÉCTRICO?. 26
5.4.1 ¿QUÉ MARCO REGULATORIO LA REGULA?. 26
5.4.2 ¿QUÉ TIPOS DE RESPUESTA DE LA DEMANDA APLICADA AL VEHÍCULO ELÉCTRICO?. 26
5.4.3 ¿QUÉ VALOR ECONÓMICO APORTA LA FLEXIBILIDAD DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO?. 27
5.4.4 BARRERAS Y RETOS PENDIENTES. 27
5.5 CONCLUSIONES SOBRE LA INTEGRACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA RED ELÉCTRICA. 28
6. ¿QUÉ IMPACTO ECONÓMICO TIENE LA IMPLANTACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN ASTURIAS SEGÚN EN EL ESCENARIO?. 29
6.1 CONTEXTO DE PARTIDA. 29
6.2 ¿QUÉ IMPACTO TIENE EL SMART CHARGING RESIDENCIAL?..... 30
6.3 ¿QUÉ IMPACTO TIENE LA RECARGA PROGRAMADA EN FLOTAS Y COMUNIDADES ENERGÉTICAS?..... 30
6.4 ¿QUÉ IMPACTO TIENE LA INTEGRACIÓN PLENA CON GENERACIÓN RENOVABLE DISTRIBUIDA? 31
6.5 RESUMEN COMPARATIVO DE ESCENARIOS. 32
6.6 EFECTO SOBRE LA FACTURA ELÉCTRICA DEL CONSUMIDOR. 33
6.7 EFECTOS INDIRECTOS SOBRE EL TEJIDO ECONÓMICO REGIONAL. 33
6.8 ¿CÓMO SE GESTIONA DE FORMA INTELIGENTE LA RECARGA? 34
6.9 ¿QUÉ ES EL SMART CHARGING?..... 34
6.10 ¿QUÉ ES LA CARGA PROGRAMADA?..... 35
6.11 ¿QUÉ ES LA CARGA DINÁMICA? 36
6.12 ¿QUÉ ALGORITMOS DE OPTIMIZACIÓN SE UTILIZAN?..... 37
7. NUEVAS TECNOLOGÍAS Y TENDENCIAS. 39
7.1 EVOLUCIÓN DEL HARDWARE EMBARCADO. 39
7.1.1 ELECTRÓNICA DE POTENCIA..... 39
7.1.2 INVERSORES MULTIPUERTO Y ARQUITECTURAS DE TRACCIÓN INTEGRADAS. .. 39
7.1.3 ¿CÓMO AFECTA LA QUÍMICA DE BATERÍAS A LA FUNCIÓN V2L?. 40
7.2 TECNOLOGÍAS EMERGENTES Y LÍNEAS DE FUTURO. 41

7.2.1 ¿CÓMO SE GESTIONA EL V2L MEDIANTE APLICACIONES MÓVILES?. 41
7.2.2 ¿CÓMO SE INTEGRA EL V2L CON LA DOMÓTICA DEL HOGAR?. 41
7.2.3 ¿QUÉ RELACIÓN TIENE EL V2L CON LA CARGA ULTRARRÁPIDA Y LAS BATERÍAS DE PRÓXIMA GENERACIÓN?..... 41
7.2.4 ¿CÓMO SE APLICA LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL A LA GESTIÓN DE LA DESCARGA?. 42
8. COMUNICACIÓN PLC EN PROTECCIONES DE RED Y USO DE V2L PARA ALIMENTACIÓN DE LOS HOGARES EN MODO ISLA..... 43
8.1 ¿CÓMO FUNCIONA EL PLC COMO MEDIO DE COMUNICACIÓN DE LAS PROTECCIONES DE RED?. 43
8.1.1 ¿CUÁLES SON LOS FUNDAMENTOS TÉCNICOS DEL PLC?. 43
8.1.2 ¿CÓMO SE APLICA EL PLC A LA COMUNICACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS?. 45
8.1.3 ¿Qué ventajas, limitaciones y retos técnicos tiene el PLC en protecciones asociadas al V2L?..... 45
8.1.4 SOLUCIONES PROPUESTAS PARA EL USO DE PLC EN PROTECCIONES DE RED. .. 47
8.2 ¿CÓMO SE USA EL V2L PARA ALIMENTAR HOGARES EN MODO ISLA?..... 48
8.2.1 ¿QUÉ ES EL MODO ISLA Y CUÁL ES EL PAPEL DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO?. 48
8.2.2 ¿EN QUÉ SE DIFERENCIAN EL V2L Y EL V2H EN MODO ISLA?. 49
8.2.3 ¿QUÉ REQUISITOS TÉCNICOS EXIGE UNA ALIMENTACIÓN SEGURA EN MODO ISLA?. 50
8.2.4 ¿QUÉ SOLUCIONES SE PROPONEN PARA ALIMENTAR HOGARES EN MODO ISLA MEDIANTE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS?..... 51
8.3 CONCLUSIONES. 53
9. ¿QUÉ IMPACTO ECONÓMICO, SOCIAL Y AMBIENTAL PUEDE TENER EL V2L EN ASTURIAS?. 54
9.1 ¿CÓMO AFECTARÍA EL V2L A LA DEGRADACIÓN DE LA BATERÍA?..... 54
9.2 ¿QUÉ IMPACTO TENDRÍA EL V2L EN UN HOGAR MEDIO ASTURIANO?..... 55
9.3 ¿QUÉ IMPACTO TENDRÍA EL V2L EN UNA FLOTA CON BATERÍA ESTACIONARIA Y GENERACIÓN FOTOVOLTAICA?..... 56
9.4 ¿QUÉ IMPACTO TENDRÍA EL V2L A ESCALA INDUSTRIAL? 57
9.5 ¿QUÉ IMPACTO SOCIAL TIENE EL V2L EN ASTURIAS?. 58
9.6 ¿QUÉ IMPACTO AMBIENTAL TENDRÍA EL V2L EN ASTURIAS? 59
10. ¿QUÉ RETOS Y PERSPECTIVAS DE FUTURO EXISTEN PARA LA IMPLANTACIÓN DEL V2L? .. 60
10.1 REGULACIÓN. 60
10.2 ESCALABILIDAD. 60

10.3 ACEPTACIÓN. 61
11. CONCLUSIÓN. 63
12. BIBLIOGRAFÍA. 64

1. INTRODUCCIÓN.

La movilidad eléctrica está emergiendo como un pilar fundamental en la transformación del sector energético y automotriz. Se debe tener en cuenta que esta tecnología es clave en la cadena de valor del sector automotriz española, las empresas líderes en movilidad eléctrica aportan al PIB más de 12.500 millones de euros anuales, siendo el 50% de los mismos procedentes de la movilidad eléctrica.[1] En su conjunto hay unos 142.000 empleos asociados mostrando el gran impacto social y económico del sector.

Se debe tener en cuenta que el interés en este sector es notable dado que se han invertido más de 220 millones de euros en I+D en los últimos años representando la movilidad eléctrica unos 27 millones de la inversión inicial. Se refleja que la movilidad eléctrica es cuatro veces más intensiva en innovación empresarial que otros campos del sector, quedando patente un dinamismo importante en lo referente al sector.

Pese a que es un sector que presenta desafíos la movilidad eléctrica es un punto clave en el proceso de descarbonización y mejora de la calidad del aire de las ciudades, tanto europeas como españolas. Además de ser uno de los pilares y principales puntos de interés de la política comunitaria.

[1] Fuente: AEDIVE, Asociación Empresarial para el Desarrollo e Impulso de la Movilidad Eléctrica.

2. ¿QUÉ SON LAS REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES Y POR QUÉ SE ESTÁN IMPLEMENTANDO?.

Uno de los nuevos desarrollos en la distribución y generación de energía eléctrica es la digitalización de la red eléctrica. A grandes rasgos la digitalización de las redes busca que éstas sean capaces de adaptarse a las variaciones del suministro eléctrico y equilibrarse de forma autónoma.

El interés por evolucionar la red analógica tradicional se centra en varios puntos: la integración de energías renovables en la producción sin que generen problemas como las pérdidas de sincronismo; la mejora de la respuesta frente a fallos en la red; y el aumento de la capacidad obtención de datos para poder establecer predicciones de consumo y necesidades de producción.

En este contexto, se aborda la movilidad eléctrica y las tecnologías vinculadas a estos vehículos como parte de la integración de nuevos agentes en las redes eléctricas.

3. ¿QUÉ PAPEL JUEGA EL VEHÍCULO ELÉCTRICO DENTRO DE UNA RED INTELIGENTE?.

Aunque el término "vehículo eléctrico" puede incluir elementos de movilidad personal como patinetes, bicicletas o motos, nos centraremos en este documento en el “coche electrificado”, que incluyendo motor eléctrico en su forma de propulsión, presenta diferentes tecnologías, con sus diversas características, ventajas y limitaciones (fuente de energía utilizada, capacidad de almacenamiento y dependencia o no de combustibles fósiles,…).

3.1 ¿QUÉ TIPOS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EXISTEN?.

3.1.1 ¿QUÉ ES UN BEV Y COMO SE INTEGRA EN LA RED?.

Los BEV son vehículos eléctricos con batería. Son vehículos 100% eléctricos y la propulsión emplea normalmente entre uno y dos motores eléctricos alimentados por dichas baterías. Esta característica permite a los vehículos eliminar las emisiones contaminantes durante su funcionamiento y mejorar significativamente la eficiencia energética respecto a los vehículos tradicionales de combustión.

Sin embargo, su adopción como solución de movilidad a gran escala continúa presentando grandes desafíos técnicos, económicos y de infraestructura. Entre los principales destacan la autonomía del vehículo, la disponibilidad de los puntos de recarga, el tiempo necesario para realizar la carga y el coste inicial de adquisición. Un estudio realizado sobre 25 países europeos durante el periodo 2010-2020 puso de manifiesto que la disponibilidad de estaciones de recarga rápida constituye uno de los principales *drivers* de compra de los BEV, ya que reduce la denominada "ansiedad por la autonomía" y mejora la percepción de comodidad por parte de los usuarios.[2]

Por otro lado, la inversión en investigación y desarrollo (I+D) desempeña un papel fundamental en la expansión de esta tecnología, al favorecer la mejora de las prestaciones de las baterías, aumenta la autonomía de los vehículos, reduce los tiempos de recarga y disminuye progresivamente los costes de fabricación.

El despliegue masivo de los BEV ofrecería (según el estudio indicado) importantes beneficios para el sistema eléctrico cuando su recarga se gestione de forma inteligente. Aunque la carga de un elevado número de vehículos puede provocar incrementos significativos de la demanda eléctrica durante las horas punta y comprometer la estabilidad de la red, el desarrollo de estrategias de carga inteligente (Smart Charging) y tecnologías bidireccionales como Vehicle-to-Grid (V2G)[3], permite que las baterías de los BEV puedan actuar como sistemas de

[2] What has driven the adoption of BEV and PHEV in the EU? Sonia ´ Almeida Neves, Antonio ´ Cardoso Marques.
[3] Estas tecnologías serán tratadas en más detalle más adelante en este informe.

almacenamiento distribuido, absorbiendo los excedentes de generación procedentes de fuentes renovables y suministrando energía a la red cuando la demanda lo requiera.



Ilustración 1. Representación de los componentes estándar de un vehículo BEV.[4]

Esta capacidad "de conexión bidireccional" convierte a los BEV en un elemento estratégico para favorecer la integración de energías renovables, mejorar la flexibilidad del sistema eléctrico y contribuir al desarrollo de las redes inteligentes (Smart Grids). Además, refuerza su papel en la red eléctrica, dejando de ser un medio de transporte sostenible para convertirse en un recurso energético distribuido dentro de la transición energética.

3.1.2 ¿QUÉ ES UN PHEV Y QUE AUTONOMÍA E INTEGRACIÓN OFRECE?.

Los vehículos híbridos enchufables constituyen una tecnología de transición entre los vehículos de combustión interna y los vehículos totalmente eléctricos. Estos automóviles combinan un motor de combustión interna con uno o varios motores eléctricos alimentados por una batería recargable desde la red eléctrica, permitiendo circular en modo completamente eléctrico durante trayectos de corta distancia y utilizar el motor convencional en desplazamientos de larga distancia en los cuales la batería resulta insuficiente o cuando sean necesarias mayores prestaciones.

Gracias a esta configuración, los PHEV ofrecen una mayor autonomía total que los vehículos eléctricos de batería (BEV), reduciendo la denominada ansiedad por la autonomía y facilitando su utilización en desplazamientos de larga distancia sin depender exclusivamente de la infraestructura de recarga. Habitualmente, la capacidad de sus baterías oscila entre 8 y 25 kWh, proporcionando autonomías eléctricas aproximadas de entre 40 y 100 km, suficientes para cubrir la mayoría de los desplazamientos diarios realizados en entornos urbanos.[5]

El estudio realizado sobre 25 países de la Unión Europea durante el periodo 2010-2020 pone de manifiesto que los factores que favorecen la adopción de los PHEV difieren parcialmente de los observados para los BEV.

Los resultados muestran que la disponibilidad de estaciones de recarga rápida constituye uno de los principales impulsores de la penetración de los PHEV en el mercado europeo, mientras que la presencia de puntos de recarga convencionales no presenta un efecto estadísticamente

[4] Fuente x-engineer.org.
[5] What has driven the adoption of BEV and PHEV in the EU? Sonia ´ Almeida Neves *, Antonio ´ Cardoso Marques.

significativo sobre sus ventas. Aunque la mayoría de los modelos PHEV actuales no admiten recarga rápida en corriente continua, los autores explican que la expansión de este tipo de infraestructura incrementa la confianza de los usuarios en la movilidad eléctrica y mejora la percepción global de la red de recarga, favoreciendo indirectamente la adquisición de vehículos híbridos enchufables. Asimismo, las inversiones en investigación y desarrollo (I+D) contribuyen significativamente al aumento de la cuota de mercado de estos vehículos mediante mejoras en la eficiencia energética, la reducción de costes y el desarrollo de nuevas tecnologías relacionadas con las baterías y los sistemas de propulsión híbridos.

Desde el punto de vista socioeconómico, el estudio identifica que los países con una mayor proporción de población de altos ingresos presentan mayores tasas de adopción de PHEV, debido a que el precio de adquisición continúa siendo superior al de los vehículos convencionales, aunque esta realidad de precios evoluciona muy rápidamente. En cambio, determinadas políticas fiscales y ambientales actúan como factores potenciadores o limitantes para su expansión. Los autores también concluyen que, a diferencia de los BEV, la penetración de las energías renovables en el sistema eléctrico no constituye un factor determinante para explicar la adopción de los PHEV, ya que estos vehículos pueden seguir utilizando combustibles convencionales cuando la batería se descarga, reduciendo su dependencia directa del origen de la electricidad utilizada para la recarga.

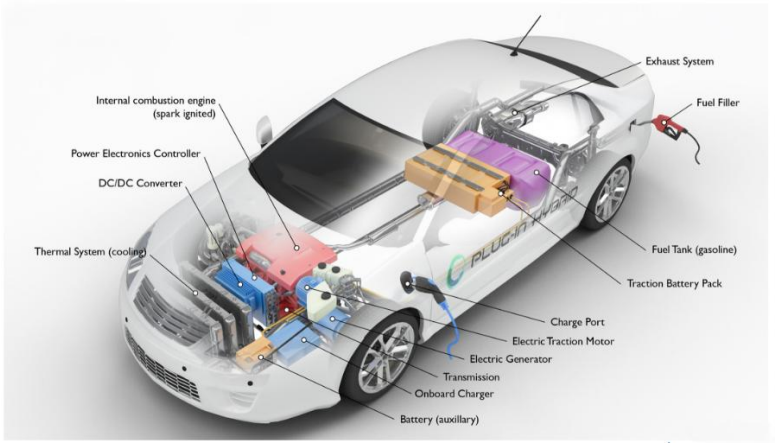


Ilustración 2.Representación de los componentes de un PHEV[6]

En el contexto de las redes inteligentes (Smart Grids), los PHEV presentan un potencial de integración inferior al de los vehículos eléctricos de batería debido a la menor capacidad de almacenamiento energético de sus baterías y a que una parte importante de la energía empleada para la propulsión continúa procediendo del motor de combustión. No obstante, estos vehículos también podrían participar en estrategias de carga inteligente (Smart Charging), desplazando la recarga hacia los periodos de menor demanda eléctrica o cuando existe una elevada generación de energía renovable.

[6] Híbrido Enchufable.

Además, determinados modelos permiten, desde un punto de vista técnico, la implementación de tecnologías bidireccionales como Vehicle-to-Grid (V2G), aunque su utilización es actualmente limitada debido a la reducida capacidad de almacenamiento disponible en las baterías del vehículo y a la necesidad de preservar suficiente energía para la conducción en modo eléctrico. Por ello, los PHEV pueden considerarse una tecnología intermedia que facilita la transición hacia una movilidad totalmente electrificada, especialmente en regiones donde la infraestructura de recarga aún se encuentra en desarrollo o donde los usuarios realizan con frecuencia desplazamientos de larga distancia, entendiendo que la larga distancia es aquella que puede superar ampliamente la autonomía del vehículo[7].

3.1.3 ¿QUÉ ES UN HEV?.

Los vehículos híbridos eléctricos son automóviles que combinan un motor de combustión interna con uno o varios motores eléctricos para mejorar la eficiencia energética y reducir el consumo de combustible y las emisiones contaminantes. A diferencia de los vehículos híbridos enchufables (PHEV), los HEV no pueden recargarse mediante una fuente de alimentación externa, ya que la energía almacenada en su batería se obtiene exclusivamente a través del motor de combustión y del sistema de frenado regenerativo, que recupera parte de la energía cinética durante las deceleraciones.

El sistema de gestión electrónica del vehículo selecciona automáticamente el modo de funcionamiento más eficiente, alternando entre el motor eléctrico, el motor térmico o la combinación de ambos según las condiciones de conducción. Gracias a esta estrategia, los HEV son eficientes en circulación urbana, donde las frecuentes paradas y aceleraciones permiten aprovechar al máximo la recuperación de energía. Sin embargo, debido a la limitada capacidad de sus baterías, su autonomía en modo completamente eléctrico es muy reducida y dependen del combustible fósil para la mayor parte de sus desplazamientos. En el contexto de las redes inteligentes (Smart Grids), su contribución es muy limitada o nula, ya que no pueden conectarse a la red eléctrica para realizar una recarga controlada ni participar en tecnologías bidireccionales como Vehicle-to-Grid (V2G), por lo que su papel se centra principalmente en mejorar la eficiencia del transporte.

3.1.4 ¿QUÉ ES UN FCEV Y CÓMO SE RELACIONA CON LAS REDES INTELIGENTES?.

Los vehículos de pila de combustible (*Full Cell Electric Vehicles, FCEV*) son vehículos impulsados por uno o varios motores eléctricos cuya energía se obtiene a partir de una pila de combustible alimentada con hidrógeno.

A diferencia de los vehículos eléctricos de batería (BEV), los FCEV no almacenan la mayor parte de la energía en una batería de gran capacidad, sino en depósitos de hidrógeno comprimido, generalmente a presiones de 350 o 700 bares.

En el interior de la pila de combustible tiene lugar una reacción electroquímica entre el hidrógeno almacenado y el oxígeno presente en el aire, produciendo electricidad para alimentar

[7] En algunos textos se habla de viajes de larga distancia los que superan las 4 horas de duración.

el motor eléctrico, mientras que el único subproducto generado es vapor de agua, lo que permite que estos vehículos no emitan contaminantes gaseosos durante su funcionamiento. Además de la pila de combustible, los FCEV incorporan una batería de pequeña batería, cuya función es almacenar la energía recuperada durante el frenado regenerativo y proporcionar potencia adicional durante aceleraciones o demandas elevadas de energía, mejorando así la eficiencia del sistema de propulsión.

Entre las principales ventajas de los FCEV destacan su autonomía, que puede superar los 600 kilómetros dependiendo del modelo, y un tiempo de repostaje reducido, generalmente entre tres y cinco minutos, características que los convierten en una alternativa especialmente interesante para el transporte de larga distancia y para aplicaciones de transporte pesado, como autobuses, camiones o vehículos industriales. Sin embargo, su implantación todavía es limitada debido al elevado coste de producción de las pilas de combustible, la escasa infraestructura de estaciones de repostaje de hidrógeno y la baja disponibilidad de hidrógeno producido mediante fuentes renovables, así como el coste global de la solución de movilidad. En la actualidad, una parte importante del hidrógeno utilizado se obtiene a partir de combustibles fósiles, por lo que sus beneficios ambientales son menores, ya que dependen en gran medida del método de producción empleado y la fuente energética de origen.

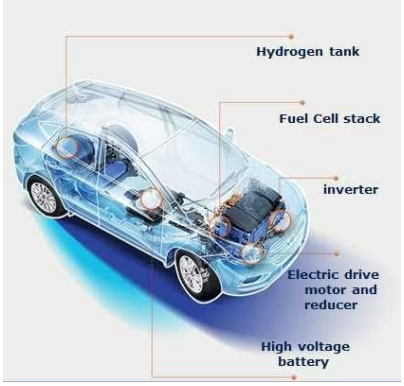


Ilustración 3.Representación de un vehículo que emplea una pila de hidrógeno[8]

Desde la perspectiva de las redes inteligentes (Smart Grids), los FCEV desempeñan un papel diferente al de los BEV. Debido a que la electricidad se genera a bordo del vehículo mediante la pila de combustible, estos automóviles no suelen participar directamente en estrategias de carga inteligente ni en tecnologías bidireccionales como Vehicle-to-Grid (V2G). No obstante, podría integrarse de forma indirecta en un sistema energético inteligente cuando el hidrógeno se produce mediante electrólisis utilizando excedentes de energía renovable. En este escenario, el hidrógeno actúa como un vector energético capaz de almacenar grandes cantidades de energía durante largos periodos de tiempo (Power-to-Hydrogen), facilitando la integración de fuentes renovables intermitentes como la energía solar y la eólica.

Por ello, los FCEV se consideran una tecnología complementaria a los BEV dentro de la transición energética y el nuevo modelo energético que debe surgir. Tendrán especial relevancia en

[8] Creative Commons, Research Gate

aquellos sectores donde se requieren grandes autonomías, tiempos de repostaje reducidos o elevadas demandas de potencia.

3.2 ¿CÓMO ESTÁ FORMADA LA ARQUITECTURA ELÉCTRICA DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO?

La arquitectura de un vehículo eléctrico está formada por un conjunto de sistemas eléctricos y electrónicos que permiten almacenar, gestionar y transformar la energía eléctrica necesaria para la propulsión del vehículo. Aunque la configuración puede variar en función del fabricante y del tipo de vehículo eléctrico, la mayoría de los modelos comparten una estructura básica compuesta por la batería de alta tensión, el sistema de gestión de batería (*Battery Management System, BMS*), el inversor electrónico de potencia, el motor eléctrico y el cargador embarcado (*On-Board Charger, OBC*). Estos componentes trabajan de forma coordinada para garantizar un funcionamiento eficiente, seguro y fiable del vehículo.

La batería constituye el principal sistema de almacenamiento energético y suministra la corriente continua necesaria para alimentar el sistema de propulsión. El BMS supervisa continuamente el estado de las celdas, controlando parámetros como la tensión, la corriente, la temperatura y el estado de carga (*State of Charge, SOC*), además de proteger la batería frente a condiciones de funcionamiento que puedan comprometer su seguridad o reducir su vida útil. Por su parte, el inversor convierte la corriente continua procedente de la batería en corriente alterna trifásica, adecuada para alimentar el motor eléctrico, regulando además el par y la velocidad mediante técnicas de electrónica de potencia.

El motor eléctrico transforma la energía eléctrica en energía mecánica con elevados niveles de eficiencia, proporcionando un par elevado desde bajas revoluciones y permitiendo recuperar parte de la energía cinética durante las frenadas mediante el sistema de frenado regenerativo.

Finalmente, el cargador embarcado se encarga de convertir la corriente alterna suministrada por la red eléctrica en corriente continua para recargar la batería cuando el vehículo se conecta a un punto de carga convencional. En conjunto, estos elementos constituyen el núcleo tecnológico del vehículo eléctrico y determinan tanto sus prestaciones como su capacidad para integrarse en sistemas de carga inteligente y en aplicaciones avanzadas de las redes eléctricas inteligentes, como el *Smart Charging* o la tecnología *Vehicle-to-Grid (V2G)*.

4. ¿EN QUÉ CONSISTE LA TECNOLOGÍA V2L?

4.1 ¿CUÁLES SON LOS FUNDAMENTOS TÉCNICOS DEL V2L?

La Tecnología *vehicule to load* (*V2L*) es la función que permite que un vehículo eléctrico ceda parte de la energía almacenada en su batería de tracción para alimentar dispositivos externos, actuando como un generador portátil de gran capacidad. En el caso de los automóviles tradicionales la toma auxiliar de los mismos está limitada a 12 V y 150 W siendo además dependiente de la batería auxiliar, el V2L aprovecha el paquete principal de tracción del vehículo para entregar una potencia continua entre 1,5 y 3,6 kW en la mayoría de turismos, y hasta 9,6 kW en furgonetas y modelos de vehículos de gran tamaño que puedan contar con inversores más potentes.

El proceso se apoya en el inversor de a bordo del vehículo, el mismo elemento que en algunos casos gestiona la carga bidireccional: convierte la corriente continua (CC) de la batería en corriente alterna (CA) a 230 V y 50Hz, compatible con el estándar doméstico europeo, permitiendo así alimentar electrodomésticos, herramientas eléctricas, equipos de emergencia o infraestructura de eventos sin necesidad de generadores auxiliares.

4.2 ¿EN QUÉ SE DIFERENCIAN EL V2L, V2H Y V2G?

El V2L forma parte de una familia de tecnologías de carga bidireccional, cada una con distinto grado de complejidad, infraestructura necesaria y marco regulatorio:

Tecnología	Destino de la energía	Infraestructura requerida	Estado en España
V2L (vehicule to load)	Dispositivos externos y demanda discontinua (electrodomésticos, herramientas, otros vehículos etc…).	Ninguna instalación; enchufe integrado o adaptador al puerto de carga.	Disponible comercialmente en múltiples modelos.
V2H (vehicule to home)	Cuadro eléctrico de la vivienda.	Cargador bidireccional + conmutador de transferencia instalado por electricista.	En despliegue incipiente.
V2G (vehicule to grid)	Red eléctrica pública.	Hardware bidireccional homologado + contrato con operador/comercializadora.	En fase piloto y regulatoria.
V2V/V2D (vehicule to	Otro vehículo eléctrico o	Similar al V2L, a menor escala.	Disponible de forma limitada.

vehicule/vehicule to device)	dispositivo ligero (bicicleta, patinete).		

Tabla 1. Elaboración propia a partir de documentación técnica de fabricantes y guías especializadas del sector, 2025-2026

4.3 ¿QUÉ SOLUCIONES TECNOLÓGICAS EXISTEN HOY PARA EL V2L?

Existen múltiples soluciones tecnológicas orientadas a la implementación de la tecnología V2L:

- ***Toma V2L integrada de fábrica:*** Algunos fabricantes (Hyundai, Kia, Genesis) incorporan una toma schuko[9] de 230 V directamente en el habitáculo o el maletero del vehículo, lista para usar sin accesorios adicionales. Es la solución más cómoda para el usuario final, aunque suelen estar limitados a potencias de hasta 3,6 kW.



Ilustración 4.Toma V2L integrada de Fábrica.[10]

- ***Adaptador V2L externo al puerto de carga:*** Consiste en un dispositivo que se conecta al conector de carga del vehículo (Tipo 2 o CCS2) y devuelve una o varias tomas de corriente convencionales. Es la solución más extendida por su bajo coste, portabilidad y compatibilidad con un mayor número de modelos, aunque exige adquirir el accesorio por separado y no todos los fabricantes lo homologan.

[9] Es el tipo de enchufe más común en España y gran parte de Europa.
[10] Fuente: Automoción.com



Ilustración 5. Ejemplo de Adaptador V2L[11]

- ***Adaptador V2L de alta potencia para uso profesional:*** Esta solución está pensada para su aplicación en furgonetas eléctricas y algunos SUV de alta gama ofrecen salidas V2L de mayor potencia hasta 9,6 kW, pensada para usos profesionales como obra civil, eventos al aire libre, *food trucks* o soporte energético de emergencia, sustituyendo a generadores diésel convencionales.



Ilustración 6. Ejemplo de cargador de alta potencia, 32A y 5 polos.[12]

4.4 ¿QUÉ MARCAS Y MODELOS OFRECEN V2L EN EL MERCADO ACTUAL?

La disponibilidad de V2L varía notablemente dependiendo del fabricante y el mercado en el que se esté operando. Las marcas como Hyundai, Kia y Genesis (aunque esta oferta evoluciona rápidamente, su inclusión aquí se hace a efectos de ejemplo y será necesario hacer una revisión en cada momento de la oferta de esta solución) los incorporan de serie en buena parte de su catálogo; casos como Ford comercializan este tipo de solución bajo nombre propios como “Pro Power Onboard” o similares. En el caso de otras empresas como BMW la nueva generación de vehículos implementará carga bidireccional ampliada.

[11] Fuente: Chinaevse
[12] Fuente: voldt

En algunos casos particulares como Volkswagen, mantienen la función planificada pero no activada en los vehículos de producción actuales.

- Potencia típica en turismos: 1,5 – 3,6 kW.
- Potencia en furgonetas y gama alta: hasta 9,6 kW.
- Conectores de referencia: Tipo 2[13] (mercado europeo) y CCS2.
- Coste orientativo del adaptador externo: accesible, ampliamente disponible en el canal de posventa.

4.5 ¿CUÁLES SON LAS LIMITACIONES TÉCNICAS DEL V2L?

El uso de V2L no está exento de restricciones que conviene tener presentes en cualquier análisis de implementación de la tecnología y del uso de la misma. La potencia disponible es limitada frente a un generador profesional; el uso continuado reduce el estado de carga disponible para la movilidad del vehículo; no todos los fabricantes garantizan la función de la batería en el caso de que se emplee en régimen de descarga profunda[14]. Además, a diferencia de otras tecnologías como V2H o el V2G el V2L no permite inyección a la red ni gestión energética automatizada del hogar, por lo que su papel económico es principalmente sustitutivo (evita generadores o consumos puntuales) y no de arbitraje energético.

[13] El tipo 2 es un tipo de conector estandarizado en Europa para recarga en corriente alterna.

[14] Se debe tener en cuenta que la vida de las baterías está condicionada por el régimen de descarga que se realice; lo óptimo es que se realicen usos que no lleguen a descargar al completo la batería, es decir los ciclos de descarga deben ser idealmente cortos sin usar toda la carga de la batería y poco frecuentes de forma que se alargue la vida del dispositivo. Acciones como descargas completas y ciclos de carga y descarga amplios degeneran la vida de la batería, esto es lo que se denomina como descarga profunda.

5. ¿CÓMO SE INTEGRA EL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA RED ELÉCTRICA?

5.1 ¿QUÉ IMPACTO TIENE LA CARGA MASIVA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA RED?

La demanda del parque electrificado constituye uno de los mayores retos operativos a los que se enfrentan las redes de distribución eléctrica en la próxima década. A diferencia de otras cargas domésticas, el vehículo eléctrico (VE) introduce en el sistema una demanda de magnitud comparable a la de un hogar medio por cada punto de recarga, con un patrón de conexión fuertemente correlacionado en el tiempo (llegada al hogar o al trabajo) y muy sensible a los hábitos del usuario.

Es importante ver cómo se produce ese impacto sobre la red:

- qué herramientas tecnológicas permiten gestionarlo de forma inteligente,
- qué papel desempeñan los agregadores de energía como nuevo agente de mercado,
- cómo se articula la respuesta de la demanda como servicio de sistema.

El incremento de las matriculaciones de vehículos eléctricos en España, que en 2026 ha superado tasas de crecimiento interanual por encima del 40% en determinados meses, está trasladando a las redes de distribución una demanda eléctrica y un fenómeno de saturación puntual que, según los principales operadores del sector, no responde tanto a una falta de capacidad global del sistema como a un problema de infraestructura de "última milla": los transformadores de distribución y líneas de baja tensión están dimensionados para perfiles de consumo residenciales tradicionales, no para la incorporación simultánea de cargas de varios kW por vivienda.

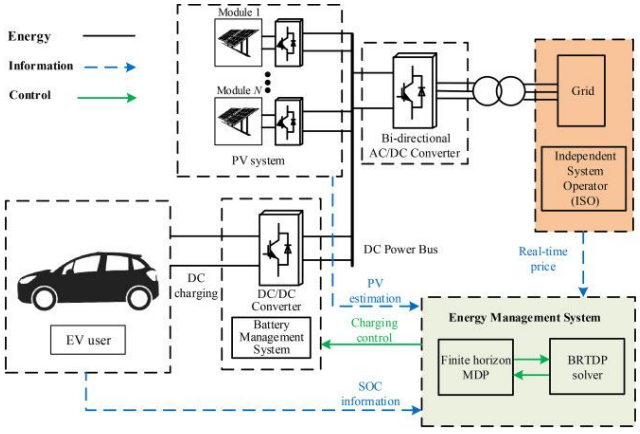


Ilustración 7.Representación de la conexión de un VE a la red eléctrica.[15]

[15] Fuente:PilotEnergyStorage

5.1.1 ¿CUÁL ES LA NATURALEZA TÉCNICA DE ESE IMPACTO?.

La literatura técnica identifica varios efectos, positivos y negativos, derivados de la incorporación masiva de vehículos eléctricos en redes de distribución. Entre los efectos negativos más citados se encuentran la afección del perfil de tensión, la saturación de componentes del sistema (transformadores y líneas), el desequilibrio de fases en cargas monofásicas mal repartidas, la inyección de armónicos por los cargadores de electrónica de potencia y el incremento de las pérdidas técnicas de energía. Estos efectos se agravan cuando la carga no está gestionada, es decir, cuando el usuario conecta el vehículo y este comienza a cargar a máxima potencia de forma inmediata, sin ningún tipo de modulación temporal.

Algunos estudios especializados, como los elaborados por el Instituto de Investigación Tecnológica (IIT) de la Universidad Pontificia de Comillas, señalan que la carga no gestionada puede provocar desviaciones de tensión y sobrecargas en transformadores de distribución locales, un problema que se concentra especialmente en zonas residenciales con alta densidad de adopción de vehículos y en redes rurales, donde la infraestructura suele estar menos reforzada y es más susceptible a incidencias. En este sentido, la instalación de puntos de recarga en el ámbito rural —de especial relevancia para Asturias por su orografía y el estado de buena parte de su red de baja tensión— puede requerir refuerzos de infraestructura que no serían necesarios en un entorno urbano bien mallado.

5.1.2 ¿QUÉ ES LA SATURACIÓN DE ACCESO Y COMO SE PRODUCE?.

Al problema técnico de la carga simultánea se suma, en el caso español, un fenómeno adicional: la saturación administrativa de los permisos de acceso y conexión a la red. Son numerosos los agentes del sector que alertan de que la introducción de miles de puntos de recarga permanece sin poder operar a plena potencia, o incluso sin poder conectarse, por falta de capacidad disponible en el nudo de red correspondiente o por la falta de la autorización administrativa pertinente, aun cuando técnicamente no se haya alcanzado la saturación. Este “atasco” no es exclusivo de la movilidad eléctrica. La industria española consume aproximadamente un tercio de la energía del país y se enfrenta igualmente a restricciones de potencia y acceso que limitan su capacidad de crecimiento. Esto evidencia un problema de fondo: el desfase entre la velocidad de adaptación de la red frente y la velocidad de crecimiento de la demanda, lo que se traduce en la indisponibilidad de energía en términos absolutos en determinados puntos.



Ilustración 8.Mapa de los puntos de conexión a red año 2025[16]

5.1.3 ¿CÓMO SE PUEDE REPARTIR LA CARGA EN EL TIEMPO?.

Frente al enfoque tradicional de reforzar la red mediante nueva inversión (nuevos transformadores, nuevas líneas, nuevas protecciones,…), un cuerpo creciente de estudios sostiene que la red eléctrica no necesita crecer de forma proporcional al parque de vehículos eléctricos si se gestiona correctamente el horario de carga.

Los análisis de flexibilidad de demanda muestran que, repartiendo mejor la carga a lo largo del día —evitando la coincidencia entre la punta de carga de VE y la punta de consumo doméstico habitual de primeras horas de la noche—, es posible absorber una electrificación mucho más profunda del parque con la infraestructura actual, retrasando o evitando costosas inversiones en refuerzo de red, que no siempre son rentables. El razonamiento es sencillo: si estos sistemas de gestión se implementan antes de que la adopción del vehículo eléctrico sea verdaderamente masiva, el ahorro potencial en infraestructura es mucho mayor que si se abordan a posteriori, una vez generado el problema.

Más allá del ahorro económico en infraestructura, suavizar los picos de consumo tiene un efecto ambiental relevante, al reducir la necesidad de activar centrales térmicas de respaldo más contaminantes y facilitar la integración de energía renovable, aprovechando las horas de mayor generación solar o eólica para desplazar hacia ellas parte de la demanda de carga.

[16] Fuente: Energética21.

5.1.4 ¿QUÉ FACTORES AGRAVAN O ATENÚAN ESTE IMPACTO EN EL CONTEXTO ASTURIANO?.

Factor	Efecto sobre la red asturiana
Orografía y dispersión rural.	Redes de baja tensión más largas y menos malladas; mayor sensibilidad a caídas de tensión por carga simultánea.
Envejecimiento de parte de la red de distribución.	Menor margen de carga en transformadores antiguos frente a nuevas cargas de vehículos eléctricos.
Concentración urbana en el área central (Gijón-Oviedo-Avilés).	Mayor riesgo de saturación puntual en barrios con alta densidad de vehículos eléctricos y garajes comunitarios.
Buen recurso eólico e hidráulico regional.	Oportunidad de acoplar la carga de vehículos eléctricos a periodos de alta generación renovable local.
Comunidades energéticas rurales en desarrollo.	Marco ya existente para pilotar gestión de carga coordinada a escala de barrio o concejo.

Tabla 2. Fuente: Elaboración propia a partir de literatura técnica sobre impacto del vehículo eléctrico en redes de distribución (IIT-Comillas, Endesa, Redalyc) y contexto de red asturiana.

5.1.5 ¿QUÉ CASOS INTERNACIONALES SIRVEN DE REFERENCIA?.

La experiencia de otros sistemas eléctricos con mayor penetración de vehículos eléctricos ofrece lecciones útiles para Asturias y para España en general. En Países Bajos y Reino Unido, mercados con mayor experiencia en carga gestionada, los operadores de distribución han optado por combinar refuerzos selectivos de red en los nudos más críticos junto con programas de incentivo a la carga fuera de punta, evitando así una inversión generalizada en toda la red de baja tensión.

En Noruega, con una de las tasas de penetración de vehículos eléctricos más altas del mundo, la experiencia demuestra que, sin gestión de la demanda, los picos de carga vespertinos pueden llegar a duplicar la punta de consumo residencial tradicional en barrios de alta adopción, mientras que con sistemas de carga programada, ese pico se reduce de forma sustancial sin merma relevante en la comodidad del usuario. Estos casos refuerzan la conclusión de que la ventana de oportunidad para implantar gestión de la demanda es más valiosa cuanto antes se abra, es decir, antes de alcanzar tasas de electrificación elevadas.

5.2 GESTIÓN INTELIGENTE DE LA DEMANDA.

La gestión inteligente de la demanda es el conjunto de tecnologías y estrategias que permiten modular cuando y a que potencia se conecta la demanda. En el caso de vehículos eléctricos, esto se traduce en qué orden se cargan cuando conectados a un punto de recarga, con el objetivo de adaptar la demanda a las condiciones de la red, al precio de la energía o a la disponibilidad de generación renovable.

5.2.1 ¿QUÉ NIVELES DE GESTIÓN DE CARGA EXISTEN?.

Nivel	Descripción	Complejidad
Carga no gestionada.	El vehículo carga a máxima potencia desde el momento de la conexión hasta completar la batería.	Nula.
Carga programada.	El usuario o el sistema desplazan el inicio de la carga a horas valle o de menor coste, sin variar la potencia.	Baja.
Carga modulada.	El sistema ajusta dinámicamente la potencia de carga en función de la capacidad de red, el precio horario o la generación renovable disponible.	Media.
Carga bidireccional (V2G/V2H).	El vehículo puede además ceder energía hacia la red o el hogar, participando activamente en el equilibrio del sistema.	Alta.

5.2.2 ¿QUÉ TECNOLOGÍAS HABILITAN ESTA GESTIÓN?.

La gestión inteligente de la demanda se apoya en tres capas tecnológicas que deben funcionar de forma coordinada:

- En primer lugar, cargadores y vehículos conectados, capaces de comunicarse mediante protocolos estandarizados como OCPP[17] (Open Charge Point Protocol) para recibir consignas de potencia en tiempo real.
- En segundo lugar, una capa de gestión energética (EMS, *Energy Management System*), habitualmente en la nube, que recibe señales de precio, de estado de la red o de disponibilidad renovable y calcula el reparto óptimo de potencia entre los puntos de carga conectados.
- En tercer lugar, contadores inteligentes y sensorización de red (a nivel de centro de transformación o de cuadro general de baja tensión) que permiten conocer en tiempo real el margen de carga disponible.

En el ámbito residencial y de flotas, esta gestión se materializa habitualmente en sistemas de balanceo de carga (*load balancing o load management*), que reparten dinámicamente la potencia total contratada entre varios puntos de recarga simultáneos, evitando superar la potencia contratada del suministro y, con ello, disparos del interruptor de control de potencia (ICP) o penalizaciones por excesos de potencia.

5.2.3 ¿QUÉ ESTRATEGIAS DE OPTIMIZACIÓN SE APLICAN?.

Los problemas asociados a la implantación de esta tecnología se pueden abordar con las siguientes estrategias:

- Tarificación dinámica y señales de precio horario: esto provocará el desplazamiento de la carga hacia las horas de menor precio en el mercado diario, aprovechando la creciente disponibilidad de contratos con precios dinámicos, que la nueva regulación obliga a ofrecer a las comercializadoras de mayor tamaño.
- Carga acoplada a generación renovable local: en instalaciones con autoconsumo fotovoltaico, esto prioriza la carga del vehículo con excedentes solares antes que con energía de red.
- Gestión predictiva basada en patrones de uso: se introducirían algoritmos que aprenden la hora habitual de salida del usuario para calcular el momento óptimo de inicio de carga que garantice el estado de carga deseado al menor coste.
- Gestión de picos a nivel de centro de transformación: la coordinación de varios puntos de recarga de un mismo barrio o polígono permite no superar la capacidad del transformador que los alimenta.

5.2.4 ¿CUÁLES SON LOS BENEFICIOS Y LIMITACIONES TIENE ESTA GESTIÓN?.

Los beneficios de la carga gestionada se centran en una reducción del esfuerzo al que se ve sometida la red eléctrica, una mejora del suministro, una disminución del coste de la energía para el usuario al desplazar consumo hacia horas valle y una mayor facilidad en la integración de renovables al amortiguar la variabilidad de la demanda neta.

[17] Es un lenguaje universal de comunicación que permite conectar los cargadores de los coches eléctricos con los programas de control central.

Sin embargo, su despliegue efectivo depende de la disponibilidad de la infraestructura de comunicación y medida en los puntos de carga, de la interoperabilidad entre fabricantes de vehículos, cargadores y plataformas de gestión y de la aceptación del usuario, que debe ceder cierto grado de control sobre el momento exacto de la carga a cambio de un ahorro económico o de una ventaja tarifaria.

5.2.5 ¿QUÉ PROTOCOLOS Y ESTÁNDARES SE UTILIZAN?.

Estándar	Función principal
OCPP (Open Charge Point Protocol)	Comunicación entre el punto de carga y la plataforma de gestión en la nube; permite enviar consignas de potencia y recibir telemetría.
ISO 15118	Comunicación vehículo-cargador, habilita la carga inteligente "*plug & charge*" y la carga bidireccional.
OpenADR	Estandariza el envío de señales de respuesta de demanda desde el operador del sistema o el agregador hacia los sistemas de gestión de carga.
IEC 61850	Comunicación y automatización a nivel de subestación, relevante para la coordinación entre red de distribución y puntos de carga masivos.

La combinación de estos estándares es lo que permite, en la práctica, que un operador de flota, un agregador o la propia distribuidora puedan enviar una consigna de reducción o desplazamiento de potencia a cientos de puntos de carga de distintos fabricantes de forma simultánea y verificable. Esto es condición indispensable para que la gestión inteligente de la demanda pueda escalar más allá de instalaciones piloto, porque hablamos de interoperabilidad de todos los equipos y sistemas.

5.3 ¿QUÉ ES UN AGREGADOR DE ENERGÍA Y QUE FUNCIÓN CUMPLE?.

El agregador de energía es un agente de mercado. Para su operación aprovecha que múltiples consumidores, productores o sistemas de almacenamiento —entre ellos, flotas de vehículos eléctricos— tienen capacidad de flexibilidad de su demanda, es decir que pueden subir o bajar su demanda eléctrica según convenga al sistema. Esta flexibilidad la ofrecen de forma conjunta en los mercados de electricidad, especialmente en los mercados de balance del sistema,

prestando servicios de respuesta de demanda. La figura, prevista desde hace años en la normativa europea (Directiva UE 2019/944) y recogida formalmente en España en la Ley 24/2013 del Sector Eléctrico, ha carecido durante años de desarrollo reglamentario efectivo, lo que ha limitado su despliegue práctico en el mercado español.

5.3.1 ¿QUÉ ESTABLECE EL NUEVO MARCO REGULATORIO DE 2026?.

El 11 de febrero de 2026 el Consejo de Ministros aprobó el Real Decreto 88/2026, por el que se aprueba el Reglamento general de suministro, comercialización y agregación de energía eléctrica, publicado en el BOE el 12 de febrero de 2026. Esta norma desarrolla por primera vez de forma completa la figura del agregador independiente en España, es decir, un agente distinto de la comercializadora que puede agregar capacidad de flexibilidad del cliente "detrás del contador" y llevarla a los mercados de balance del sistema eléctrico. La norma recoge sus derechos y obligaciones y sienta las bases para que la flexibilidad de la demanda se convierta en un activo económico negociable.

Con esta figura plenamente operativa, un conjunto de vehículos eléctricos gestionados —por ejemplo, la flota de una empresa, los puntos de carga de una comunidad energética o los vehículos particulares adheridos a un programa de un agregador— podrán prestar al sistema, a través de dicho agregador, servicios como la respuesta activa de la demanda (SRAD), la regulación secundaria (aFRR) y terciaria (mFRR), la participación en el mercado intradiario y, en desarrollos futuros, servicios en los mecanismos de capacidad, percibiendo una remuneración por ello.

El propio Real Decreto también recoge la creación de un *datahub*[18] que centraliza la información de los puntos de suministro eléctrico, elemento imprescindible para que los agregadores puedan operar con garantías de trazabilidad y medida, y refuerza la protección del consumidor: las comercializadoras con más de 200.000 clientes deberán ofrecer contratos con precios dinámicos, ampliando las opciones de los usuarios que quieran ajustar su consumo —incluida la carga de su VE— al precio horario del mercado.

5.3.2 ¿EN QUÉ SE DIFERENCIAN LOS AGREGADORES DE GENERACIÓN, ALMACENAMIENTO Y DEMANDA?.

Conviene distinguir el papel del agregador de demanda —el que agrupa capacidad de reducción o desplazamiento de consumo, categoría en la que se encuadra la flexibilidad del VE— del agregador de generación distribuida, centrado en pequeñas instalaciones de producción renovable, y del agregador de almacenamiento, orientado a baterías estacionarias. El Real Decreto 88/2026 permite que un mismo agregador independiente combine estas funciones bajo una única figura jurídica, lo que resulta especialmente relevante para el caso del vehículo eléctrico bidireccional, que técnicamente puede comportarse a la vez como demanda (cuando

[18] Es un centro de datos, podría ser definido como una arquitectura tecnológica que centraliza, unifica y gestiona información de distintas fuentes. Funciona como punto de encuentro y ordenamiento de datos.

carga) y como generación o almacenamiento (cuando descarga hacia la red o el hogar), y que por tanto puede aportar un valor de flexibilidad superior al de una carga puramente pasiva.

5.4 ¿QUÉ ES LA RESPUESTA DE LA DEMANDA APLICADA AL VEHÍCULO ELÉCTRICO?.

La respuesta de la demanda es el conjunto de mecanismos por los cuales los consumidores, bien de forma directa o a través de un agregador modifican su patrón habitual de consumo eléctrico en respuesta a una señal de precio o a una solicitud del operador del sistema, contribuyendo así al equilibrio entre generación y demanda en tiempo real. En el caso del vehículo eléctrico, esta modificación se traduce en general en el aplazamiento, reducción o, en los casos de tecnología bidireccional, la inversión temporal del flujo de carga.

5.4.1 ¿QUÉ MARCO REGULATORIO LA REGULA?.

En España, la respuesta activa de la demanda como servicio de ajuste del sistema eléctrico está regulada por el Procedimiento de Operación 7.5, cuyo marco técnico define cómo Red Eléctrica de España, como operador del sistema, gestiona/ejecuta el servicio conforme a las reglas establecidas en el procedimiento.

La CNMC aprobó el 11 de mayo de 2026 una resolución que modifica dicho procedimiento, publicada el 15 de mayo de 2026, con el objetivo de mejorar la eficiencia en la asignación del servicio.

Esta modificación afecta de manera directa a las empresas consumidoras intensivas de energía y a los agregadores de demanda, que deberán adaptar sus procedimientos internos al nuevo marco para participar el mercado de este servicio, lo que se enmarca en una tendencia europea de exigencias de flexibilidad crecientes. Además, la llegada de un Código de Red europeo sobre Respuesta de la Demanda que armonizará las reglas de acceso, cualificación e intercambio de datos entre los distintos mercados nacionales.

5.4.2 ¿QUÉ TIPOS DE RESPUESTA DE LA DEMANDA APLICADA AL VEHÍCULO ELÉCTRICO?.

Tipo de servicio	Horizonte Temporal	Aplicación típica al Vehículo Eléctrico
Respuesta de demanda explícita (basada en mercado)	Minutos a horas (mercados de balance/intradiario).	El agregador oferta la reducción o desplazamiento de carga de una flota de VE como bloque de flexibilidad.
Respuesta de demanda implícita (basada en precio)	Diaria (según curva de precios horarios).	El usuario o su sistema de carga inteligente desplaza automáticamente la carga a horas de precio bajo.

Tipo de servicio	Horizonte Temporal	Aplicación típica al Vehículo Eléctrico
Regulación secundaria y terciaria (aFRR/mFRR)	Segundos a minutos.	Flotas de VE con carga bidireccional aportan capacidad de ajuste fino de potencia al sistema.
Gestión de emergencia / deslastre de carga	Inmediato.	Reducción forzosa y puntual de la carga de VE ante un riesgo de desequilibrio grave del sistema.

5.4.3 ¿QUÉ VALOR ECONÓMICO APORTA LA FLEXIBILIDAD DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO?.

El vehículo eléctrico presenta características particularmente favorables para participar en programas de respuesta de la demanda. La batería actúa como un acumulador de energía que mejora la rentabilidad de su función de movilidad. Puesto que el vehículo permanece habitualmente conectado durante periodos largos (por la noche en el domicilio, o durante la jornada laboral en el trabajo), y el margen entre el estado de carga real y el estado de carga necesario para el siguiente desplazamiento suele ser amplio, se puede usar esa flexibilidad sin afectar a la experiencia de uso del propietario.

Esta flexibilidad tiene un valor económico, que es creciente en un sistema eléctrico con una penetración renovable cada vez mayor, donde la variabilidad de la generación eólica y solar exige más y mejores herramientas de ajuste fino de la demanda.

Los análisis de flexibilidad de demanda coinciden en señalar que anticipar el despliegue de estos mecanismos —antes de que la electrificación del parque sea masiva— multiplica su valor, al evitar inversiones en refuerzo de red y en generación de respaldo que de otro modo serían necesarias para cubrir picos de demanda cada vez mayores. En sentido inverso, cuanto más tarde se implanten estos mecanismos, menor será el margen de maniobra disponible y mayor el coste de adaptación posterior de la red.

5.4.4 BARRERAS Y RETOS PENDIENTES.

- Interoperabilidad técnica: necesidad de que vehículos, cargadores y plataformas de gestión cumplan protocolos comunes (OCPP[19] y estándares de telemedida) y gracias a ello pueda haber una interoperabilidad plena, para que la flexibilidad sea verificable por el operador del sistema.

[19] El protocolo OCPP (Open Charge Point Protocol) es un estándar universal de comunicación que conecta los cargadores de vehículos eléctricos con los sistemas centrales de gestión de software.

- Desarrollo de los procedimientos de operación PO 3.8[20] y PO 9.2[21], que deben concretar los requisitos técnicos de comunicación y medida para la participación efectiva de agregadores de VE.
- Marco económico y de garantías todavía en desarrollo por parte de la CNMC[22], necesario para dar seguridad jurídica y financiera a los agregadores y a los usuarios que ceden su flexibilidad.
- Aceptación social y confianza de los usuarios, que debe ser soportada en una comunicación clara sobre el impacto en la disponibilidad y vida útil de la batería del vehículo.
- Armonización europea pendiente a través del futuro Código de Red sobre Respuesta de la Demanda, que reducirá la fragmentación regulatoria actual entre países y facilitará escalar modelos de negocio de un mercado nacional a otro.

5.5 CONCLUSIONES SOBRE LA INTEGRACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA RED ELÉCTRICA.

El impacto de la carga de vehículos eléctricos sobre la red es ante todo un problema de infraestructura de última milla y coordinación temporal de la demanda, más que la capacidad global del sistema. Por ello, la respuesta más eficiente pasa por gestionar cuando se realiza la carga, y no únicamente por reforzar la red.

En este contexto, la gestión inteligente de la demanda constituye la herramienta técnica de base sobre la que se apoyan tanto la agregación como la respuesta de la demanda, por lo que su despliegue debería priorizarse en los próximos años, mientras que el parque de vehículos eléctricos asturiano todavía es manejable.

Asimismo, el Real Decreto 88/2026 abre en España, y por extensión en Asturias, una ventana de oportunidad real para el desarrollo de agregadores independientes, aunque su operativa efectiva depende todavía de determinados desarrollos técnicos y regulatorios pendientes, entre ellos los procedimientos de operación PO 3.8 y PO 9.2 y el marco económico que debe definir la CNMC.

En paralelo, la respuesta de la demanda, reforzada por la modificación del PO 7.5 de mayo de 2026, sitúa a los agregadores de flotas de VE en una posición favorable para participar en los mercados de ajuste del sistema, generando un nuevo flujo de ingresos potencial para usuarios, flotas y comunidades energéticas asturianas.

[20] Es un procedimiento de Operación de REE. El P.O. 3.8 regulará las pruebas de cualificación para que las instalaciones participen en los servicios del sistema.
[21] El P.O. 9.2 definirá los protocolos de intercambio de datos en tiempo real.
[22] Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia.

6. ¿QUÉ IMPACTO ECONÓMICO TIENE LA IMPLANTACIÓN DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN ASTURIAS SEGÚN EN EL ESCENARIO?.

Una estimación del impacto económico de la de Asturias podría hacerse tomando tres niveles crecientes de sofisticación en la gestión de la recarga del vehículo eléctrico:

- un primer escenario centrado en despliegue de Smart Charging a escala residencial,
- un segundo escenario de recarga programada aplicado a flotas y comunidades energéticas, y
- un tercer escenario de integración plena con generación renovable distribuida y almacenamiento.

La estimación se hace en base al grado de inteligencia y de acoplamiento renovable del sistema de recarga en su conjunto.

6.1 CONTEXTO DE PARTIDA.

Se parte de tres variables regionales o que afectan a la red eléctrica en la región. En primer lugar, la estructura del mix de generación asturiano: el Principado cuenta con una potencia instalada de generación renovable de en torno a 1.600 MW, en torno al 42 % de la potencia total instalada en la región, con la hidráulica aportando aproximadamente el 21 % y la eólica en torno al 18 % del total. Esta combinación sitúa a Asturias en una posición aparentemente favorable para la integración de la carga de VE con renovables autóctonas, especialmente hidráulica y eólica, frente a comunidades cuyo mix depende en mayor medida de tecnologías térmicas. No obstante, la necesidad de contar con potencia de respaldo para un suministro industrial hace que la situación de las renovables en Asturias tenga sus propias características.

En segundo lugar está la evolución reciente del sistema eléctrico español, que en 2025 alcanzó una cuota de generación renovable del 55,5 % a nivel nacional y un máximo histórico de producción libre de emisiones, impulsada sobre todo por la incorporación de más de 8.800 MW de nueva potencia solar fotovoltaica. Esta tendencia nacional de fuerte crecimiento fotovoltaico y de progresiva descarbonización del mix es el marco en el que se inserta cualquier análisis de integración de la carga de VE con renovables a nivel autonómico.

En tercer lugar, los proyectos singulares de la región: la reconversión del grupo de Aboño II, en Asturias, de central de carbón a turbina de vapor de gas, que ha reducido de forma notable la potencia instalada de carbón en la comunidad, el cambio de combustible de La Pereda, el desarrollo de proyectos de almacenamiento hidráulico,... Todo ello refuerza la tendencia de sustitución de generación convencional por fuentes renovables y de respaldo más flexible, un contexto que favorece políticas de acoplamiento de la demanda de VE a la generación limpia disponible.

6.2 ¿QUÉ IMPACTO TIENE EL SMART CHARGING RESIDENCIAL?.

Este escenario de recarga de vehículos eléctricos implica la instalación progresiva de cargadores domésticos con capacidad de comunicación y gestión remota en los hogares asturianos con vehículo eléctrico, sin intervención sobre la generación ni sobre la tarifa contratada más allá de la disponibilidad de los precios dinámicos.

Variable	Estimación
Sobrecoste de un cargador inteligente frente a uno básico	Moderado; diferencial habitualmente amortizable en 2-4 años vía ahorro tarifario
Ahorro por hogar mediante desplazamiento a horas valle	Relevante en hogares con tarifa de discriminación horaria o precio dinámico
Reducción de riesgo de sobrecarga en transformadores residenciales	Alta en el corto plazo, sin necesidad de inversión en refuerzo de red
Efecto sobre la distribuidora regional	Inversiones en refuerzo de líneas de baja tensión en zonas de alta densidad de VE
Barrera principal	Coste de entrada del cargador inteligente y desconocimiento de las tarifas dinámicas por parte del usuario

El principal valor económico de este escenario para Asturias no reside tanto en el ahorro directo del usuario individual como en el efecto agregado sobre la necesidad de inversión en refuerzo de red de distribución, que puede diferirse de forma proporcional al grado de adopción de *smart charging* en las zonas de mayor concentración de vehículos eléctricos, es decir en el área central de la región.

6.3 ¿QUÉ IMPACTO TIENE LA RECARGA PROGRAMADA EN FLOTAS Y COMUNIDADES ENERGÉTICAS?.

El análisis se extiende la gestión inteligente a conjuntos de vehículos de titularidad única: flotas municipales, flotas empresariales y comunidades energéticas rurales ya activas en el Principado. La programación conjunta de la recarga de varios vehículos permite explorar economías de escala que no están al alcance del usuario residencial individual.

Variable	Estimación
Inversión necesaria.	Media: plataforma de gestión de flota+ cargadores inteligentes en cada punto.

Variable	Estimación
Ahorro por optimización conjunta de la curva de carga.	Superior al escenario residencial por el efecto de agregación de varios vehículos.
Sinergia con generación local.	Alta cuando existe instalación de autoconsumo asociada a la flota o a la comunidad energética.
Efecto sobre el empleo local.	Oportunidad para integradores de sistemas y gestores energéticos locales.
Barrera principal.	Necesidad de un gestor energético o plataforma dedicada y de un mínimo de escala de flota.

Para las comunidades energéticas en ámbito rural, este escenario representa una extensión natural de su actividad actual de gestión colectiva de energía, con un impacto económico que se traduce en un menor coste de la energía consumida por la propia comunidad y en un mayor grado de autosuficiencia frente a la red.

6.4 ¿QUÉ IMPACTO TIENE LA INTEGRACIÓN PLENA CON GENERACIÓN RENOVABLE DISTRIBUIDA?

El escenario más amplio combina la recarga inteligente, la generación renovable distribuida (fotovoltaica, eólica a pequeña escala o minihidráulica), además de incluir el almacenamiento estacionario en forma de baterías u otros métodos, de modo que la carga de los vehículos se abastece mayoritariamente con energía generada en el propio punto de consumo o en su defecto de su entorno inmediato.

Variable	Estimación
Inversión necesaria.	Alta; generación distribuida + almacenamiento + gestión inteligente integrada
Ahorro en la factura energética a largo plazo.	El más elevado de los tres escenarios, con periodos de retorno más largos
Reducción de dependencia de la red de transporte.	Significativa en instalaciones con alto grado de autoconsumo

Variable	Estimación
Contribución a objetivos regionales de descarbonización.	Alta, alineada con la tendencia de sustitución de generación térmica en la región
Barrera principal.	Elevada inversión inicial y necesidad de planificación integrada (urbanística, energética y de movilidad)

Este escenario es el más adecuado para nuevos desarrollos urbanísticos, polígonos industriales o proyectos de comunidad energética de nueva creación en Asturias, donde la planificación conjunta de generación, almacenamiento y recarga desde el origen del proyecto reduce sustancialmente el sobrecoste de integración frente a una incorporación posterior sobre la infraestructura ya construida.

6.5 RESUMEN COMPARATIVO DE ESCENARIOS.

Escenario	Inversión	Ahorro potencial	Impacto en la red regional
Smart charging residencial	Baja-media.	Moderado por hogar, alto en agregado.	Refuerzos en baja tensión.
Recarga programada en flotas/CE	Media.	Alto por efecto de agregación.	Reducción de picos localizados en zonas de flota.
Integración con renovable distribuida	Alta.	El más alto a largo plazo.	Reducción estructural de la dependencia de la red de transporte.

Considerando los tres escenarios, la senda de implantación progresiva para Asturias pasaría por:

- extender primero el smart charging residencial como base tecnológica de bajo coste,
- consolidar después la recarga programada en flotas y comunidades energéticas ya existentes y
- reservar la integración plena con la generación distribuida para los proyectos de nueva planta, donde el sobrecoste marginal de incorporarla desde el diseño es sensiblemente menor.

6.6 EFECTO SOBRE LA FACTURA ELÉCTRICA DEL CONSUMIDOR.

Un elemento adicional a considerar en la valoración económica de cada escenario es su efecto sobre el coste total de propiedad (TCO) del vehículo eléctrico para el usuario final asturiano. El coste energético de la recarga es habitualmente la partida más sensible a la estrategia de gestión aplicada: un mismo vehículo, con el mismo patrón de uso, puede tener un coste anual de recarga sensiblemente distinto según cargue de forma no gestionada a precio medio, de forma programada en horas valle, o de forma dinámica maximizando el autoconsumo renovable disponible.

Estrategia de recarga	Coste relativo frente a carga no gestionada	Factor determinante del ahorro
Carga no gestionada (referencia)	100 %	—
Carga programada en horas valle	Ahorro moderado	Diferencial de precio entre horas valle y punta de la tarifa contratada
Carga dinámica con excedentes fotovoltaicos	Ahorro adicional variable según estación	Coincidencia entre producción solar propia y disponibilidad del vehículo
Carga dinámica con generación eólica/hidráulica regional	Ahorro adicional más estable a lo largo del año	Compatibilidad horaria y estacional del recurso eólico e hidráulico asturiano

6.7 EFECTOS INDIRECTOS SOBRE EL TEJIDO ECONÓMICO REGIONAL.

Más allá del ahorro energético y económico directo, la implantación de estos tres escenarios en Asturias tiene efectos indirectos sobre el tejido económico regional que conviene incorporar a cualquier valoración de impacto. Entre todos los efectos indirectos pueden destacar la instalación y el mantenimiento de cargadores inteligentes o el desarrollo de plataformas de gestión de flota e instalaciones renovables distribuidas. Todas ellas generan actividad para instaladores eléctricos, integradores de sistemas, ingenierías y empresas de mantenimiento con implantación local.

Asimismo, el desarrollo de comunidades energéticas con recarga inteligente integrada refuerza la actividad ya iniciada en la región, que pueden incorporar la gestión de la recarga de vehículos eléctricos como un servicio adicional dentro de su modelo de gestión energética colectiva, ampliando así el valor generado por cada proyecto sin necesidad de partir de cero en su desarrollo administrativo y organizativo.

6.8 ¿CÓMO SE GESTIONA DE FORMA INTELIGENTE LA RECARGA?

Dentro de las posibilidades técnicas de la recarga inteligente se consideran las siguientes variantes técnicas de la recarga inteligente del vehículo eléctrico, diferenciando el concepto general de *smart charging* de sus dos grandes modalidades operativas —la carga programada y la carga dinámica— y de los algoritmos que las hacen posibles.

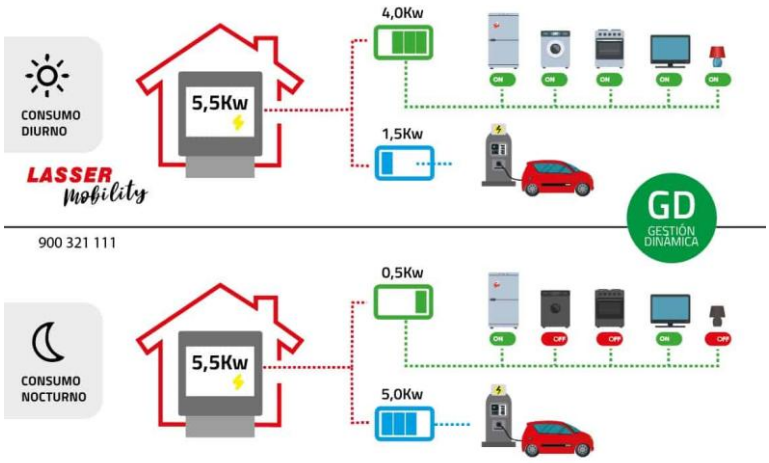


Ilustración 9.Ejemplo de la gestión inteligente de la recarga de coches eléctricos en el contexto V2L[23]

6.9 ¿QUÉ ES EL SMART CHARGING?

El *smart charging* es una tecnología que engloba cualquier estrategia de recarga que module la potencia o el momento de carga en función de una variable externa al propio vehículo: precio de la energía, estado de la red, disponibilidad de generación renovable o preferencias del usuario.

No es en sí mismo una tecnología única, sino una capacidad del sistema de recarga que se construye sobre tres pilares: comunicación (el cargador debe poder recibir consignas externas), medida (el sistema debe conocer el estado de carga del vehículo y el consumo del punto de suministro) y control (el cargador debe poder ajustar la potencia entregada de forma dinámica).

Arquitectura	Descripción	Caso de uso típico
Control local (edge)	La lógica de optimización reside en el propio cargador o en un controlador local, sin depender de conexión a internet permanente.	Instalación residencial aislada o con conectividad limitada.

[23] Fuente: Grupo Lasser

Arquitectura	Descripción	Caso de uso típico
Control en la nube (cloud-based)	La optimización se calcula en una plataforma remota que envía consignas al cargador vía OCPP u otro protocolo.	Flotas, comunidades energéticas, redes de puntos de recarga públicos.
Control híbrido	Lógica básica local con supervisión y optimización avanzada desde la nube.	Instalaciones medianas que requieren robustez ante caídas de conectividad.

La eficacia del *smart charging* depende en gran medida de la información que el usuario aporta al sistema: hora prevista de desconexión, estado de carga mínimo deseado y, en su caso, preferencia de coste frente a preferencia de rapidez de carga. Cuanto mayor es la calidad de esta información, mayor es el margen de optimización disponible para el algoritmo sin comprometer la disponibilidad del vehículo cuando el usuario lo necesita.

Agente	Beneficio principal del smart charging
Usuario/propietario del VE	Reducción del coste de recarga y mayor control sobre el momento y el gasto asociado
Distribuidora eléctrica	Reducción del riesgo de sobrecarga de transformadores y líneas de baja tensión, diferimiento de inversiones
Operador del sistema (Red Eléctrica de España)	Mayor capacidad de integración de renovables variables y menor necesidad de generación de respaldo
Gestor de flota o comunidad energética	Optimización del coste energético agregado y posibilidad de participar en mercados de flexibilidad
Administración local o regional	Menor necesidad de inversión pública en refuerzo de infraestructura eléctrica

Esta multiplicidad de beneficiarios explica por qué el *smart charging* se considera, en la literatura técnica y en la práctica regulatoria, un elemento de interés público y no solo una funcionalidad de confort para el usuario individual, lo que justifica que todos los agentes del sector eléctrico impulsen activamente su despliegue mediante incentivos, normativa técnica y programas de ayuda a la instalación de cargadores inteligentes.

6.10 ¿QUÉ ES LA CARGA PROGRAMADA?

La carga programada es la modalidad más sencilla de *smart charging*, el usuario o el sistema fijan de antemano una ventana horaria o un momento de inicio de carga, habitualmente

coincide con las horas de menor precio de la energía o de menor demanda del sistema y el vehículo carga a potencia fija o máxima dentro de esa ventana, sin reajustes posteriores en tiempo real.

Estos sistemas operan en diferentes modalidades de programación:

- Programación manual por el usuario: configuración directa de una hora de inicio o de una ventana horaria desde el propio vehículo o la aplicación del cargador.
- Programación automática por tarifa: el sistema detecta el periodo tarifario más económico (valle) y programa la carga para que coincida con él, sin intervención del usuario.
- Programación por calendario de flota: en el caso de flotas, cada vehículo recibe una ventana de carga asignada según su hora de salida prevista, evitando la coincidencia de todos los vehículos en el mismo instante.

La carga programada tiene la ventaja de la simplicidad al no requerir comunicación en tiempo real durante todo el proceso de carga, basta con una consigna inicial. Esto hace que sea una opción robusta frente a fallos de conectividad y sencilla de implementar incluso en instalaciones domésticas básicas. Su limitación principal es que no reacciona a cambios de última hora en la red o en el precio: si durante la ventana programada se produce una punta de demanda imprevista o una caída de generación renovable, el sistema de carga programada no lo detecta ni ajusta su comportamiento, a diferencia de la carga dinámica.

6.11 ¿QUÉ ES LA CARGA DINÁMICA?

La carga dinámica ajusta la potencia de carga de forma continua durante todo el proceso, en respuesta a señales que llegan en tiempo real o casi real: precio horario intradiario, estado de congestión de la red local, producción instantánea de una instalación renovable asociada, o límite de potencia contratada del punto de suministro.

Los sistemas de carga dinámica suelen estar integrados por los siguientes componentes:

Componente	Función
Medidor inteligente / sensor de potencia	Mide en tiempo real el consumo total del punto de suministro y el margen disponible antes de superar la potencia contratada.
Controlador de carga	Recalcula la consigna de potencia del cargador cada pocos segundos o minutos en función de las señales recibidas.
Interfaz de señales externas	Recibe precio horario, señales de red o producción renovable en tiempo real desde el operador, la comercializadora o el inversor fotovoltaico.
Lógica de prioridad de usuario	Garantiza que, pese a los ajustes dinámicos, el vehículo alcance el estado de carga mínimo requerido antes de la hora de salida.

Una de las aplicaciones más extendidas de la carga dinámica es el uso de los excedentes de carga, en este caso el sistema mide en tiempo real la producción de una instalación fotovoltaica de autoconsumo y ajusta la potencia de carga del vehículo para consumir exclusivamente, o de forma prioritaria, la energía que en cada instante sobra tras cubrir el resto de consumos del hogar o la instalación, minimizando así el vertido de excedentes a la red y maximizando el aprovechamiento de la energía solar generada in situ.

6.12 ¿QUÉ ALGORITMOS DE OPTIMIZACIÓN SE UTILIZAN?

El núcleo técnico de cualquier sistema de carga inteligente, ya sea programado o dinámico, es el algoritmo que decide, en cada instante o para cada ventana temporal, cuánta potencia se asigna a cada vehículo conectado. La complejidad de este algoritmo varía notablemente según el número de vehículos gestionados, los objetivos que se persigan y las restricciones del sistema.

En este tipo de problemas de optimización de sistemas se suelen establecer los siguientes objetivos:

- Minimización del coste total de la energía consumida, sujeta a que cada vehículo alcance su estado de carga objetivo antes de su hora de salida.
- Minimización de la potencia pico total, para no superar la potencia contratada o la capacidad del transformador que alimenta la instalación.
- Maximización del autoconsumo de energía renovable local, priorizando la carga en los momentos de mayor producción propia.
- Maximización de los ingresos por participación en mercados de flexibilidad, cuando la instalación está adherida a un agregador.

Para conseguir estos objetivos existen una gran variedad de algoritmos, en la siguiente tabla se muestra un resumen de los más representativos.

Familia de algoritmo	Principio de funcionamiento	Idoneidad
Reglas heurísticas	Aplica reglas predefinidas (por ejemplo, "cargar solo si el precio es inferior a X")	Instalaciones pequeñas, fácil de implementar y de entender por el usuario
Programación lineal / optimización matemática	Calcula la asignación óptima de potencia resolviendo un problema de optimización con restricciones (potencia máxima, energía requerida, horizonte temporal)	Flotas y comunidades energéticas con varios vehículos y restricciones complejas
Control predictivo basado en modelo (MPC)	Recalcula periódicamente la solución óptima incorporando previsiones	Sistemas con generación renovable variable y

Familia de algoritmo	Principio de funcionamiento	Idoneidad
	actualizadas de precio, demanda o generación renovable	necesidad de adaptación continua
Aprendizaje automático (machine learning)	Aprende patrones históricos de uso, precio y generación para anticipar el comportamiento óptimo sin resolver explícitamente un problema matemático en cada ciclo	Plataformas de gestión a gran escala con grandes volúmenes de datos históricos

Con independencia de la familia del algoritmo que se emplea, cualquier sistema de optimización de carga debe respetar un conjunto de restricciones básicas:

- La potencia asignada a cada vehículo no puede superar la potencia máxima admisible por el cargador y el propio vehículo.
- La suma de potencias asignadas en un punto de suministro no puede superar la potencia contratada.
- El estado de la carga final debe alcanzar el mínimo solicitado por el usuario antes de su hora de salida prevista.
- En el caso de sistemas de carga de flotas de vehículos, debe respetarse cualquier prioridad operativa (por ejemplo, un vehículo de emergencia debe cargarse antes que uno de uso administrativo).
- El diseño de un buen algoritmo de optimización consiste, en última instancia, en encontrar el mejor resultado posible dentro de estas restricciones, y no en perseguir un óptimo teórico que ignore las condiciones reales de operación.

La puesta en marcha de un algoritmo de optimización de carga en una instalación no es un proceso de configuración única, sino un ciclo continuo de calibración y mejora. En una primera fase de puesta en marcha, el algoritmo opera con parámetros conservadores basados en estimaciones genéricas de consumo y de patrones de uso.

En una segunda fase, a medida que se acumula histórico de operación real, el sistema ajusta sus previsiones a los patrones efectivamente observados en la instalación, lo que mejora de forma progresiva la precisión de la optimización.

En una tercera fase, de explotación madura, el algoritmo incorpora señales externas adicionales —precio intradiario, previsión meteorológica para generación renovable asociada, señales de red— y puede evolucionar hacia una participación activa en mercados de flexibilidad a través de un agregador, cerrando así el vínculo entre la gestión inteligente de la recarga y la integración en mercados de energía.

7. NUEVAS TECNOLOGÍAS Y TENDENCIAS.

7.1 EVOLUCIÓN DEL HARDWARE EMBARCADO.

7.1.1 ELECTRÓNICA DE POTENCIA.

Los inversores de los primeros vehículos eléctricos con función V2L se basaban mayoritariamente en semiconductores de silicio (IGBT), una tecnología madura, pero con límites conocidos de eficiencia y de densidad de potencia. La generación de plataformas eléctricas lanzada entre 2024 y 2026 incorpora de forma creciente semiconductores de carburo de silicio (SiC) en la etapa de potencia principal, y comienza a explorar el nitruro de galio (GaN) en convertidores auxiliares de menor potencia, ambos con menores pérdidas por conmutación, mayor capacidad de trabajar a temperaturas elevadas y menor volumen físico que el silicio convencional.

Tecnología de Semiconductor	Ventaja principal para V2L	Estado de adopción
Silicio (IGBT)	Coste reducido y tecnología muy madura	Todavía mayoritaria en plataformas de gama media
Carburo de Silicio (SiC)	Mayor eficiencia de conversión, menor pérdida de calor, mayor potencia por unidad de volumen	En expansión rápida en plataformas premium y de nueva generación
Nitruro de Galio (GaN)	Muy alta densidad de potencia, tamaño reducido, idóneo para convertidores auxiliares	Incipiente, limitado a etapas de baja/media potencia

Para la función V2L en concreto, esta evolución se traduce en dos efectos prácticos directamente perceptibles por el usuario: una mayor eficiencia de conversión de corriente continua a corriente alterna, lo que reduce la pérdida de energía cuando el vehículo actúa como fuente de alimentación, y una mayor estabilidad térmica del inversor, que permite sostener potencias de salida más elevadas y durante periodos de uso más largos sin activar limitaciones de protección por temperatura, un problema habitual en las primeras generaciones de adaptadores V2L de baja gama.

7.1.2 INVERSORES MULTIPUERTO Y ARQUITECTURAS DE TRACCIÓN INTEGRADAS.

Una segunda línea de evolución del hardware es la aparición de arquitecturas de inversor multipuerto, en las que un mismo bloque de electrónica de potencia gestiona simultáneamente la carga desde la red, la tracción del vehículo y la descarga en modo V2L o V2H. Se desarrolla integrado, como evolución del enfoque anterior de componentes separados para cada función.

Esta integración reduce el número de componentes físicos necesarios, el peso y el coste de fabricación además de facilitar que fabricantes de gama media incorporen la función V2L sin necesidad de un hardware dedicado adicional, lo que explica en buena medida la rápida extensión de la función observada en el mercado durante 2025 y 2026.

Ligada a esta integración, algunos fabricantes han comenzado a introducir arquitecturas de tracción de 800 voltios en sustitución de los tradicionales sistemas de 400 voltios, lo que además de reducir los tiempos de carga rápida, mejora la eficiencia global del tren motriz y de sus funciones auxiliares, incluida la conversión de potencia necesaria para el V2L, al operar con corrientes más bajas para una misma potencia transferida.

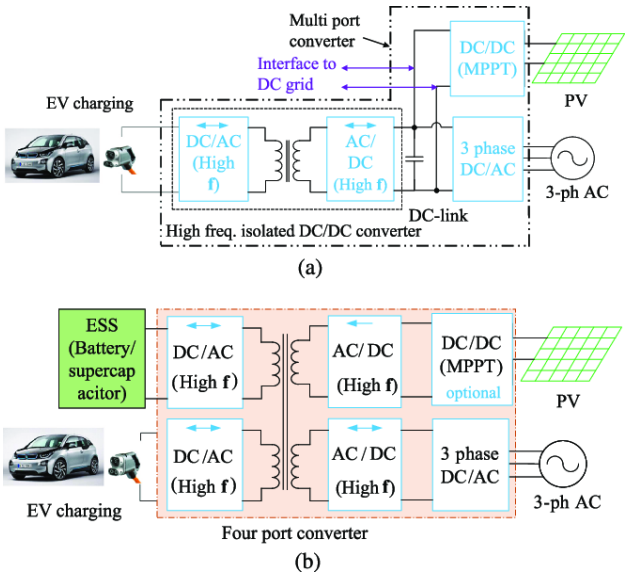


Ilustración 10.Comparativa de distintas topologías de inversores multipuerto.[24]

7.1.3 ¿CÓMO AFECTA LA QUÍMICA DE BATERÍAS A LA FUNCIÓN V2L?.

La evolución de la química de las baterías de tracción tiene un efecto directo, aunque menos visible, sobre la viabilidad y el atractivo comercial de la función V2L. Las baterías de fosfato de hierro y litio (LFP), cuya adopción ha crecido de forma notable en los últimos años por su menor coste y mayor estabilidad térmica, toleran mejor los ciclos de descarga profunda asociados a un uso intensivo del V2L que las químicas de níquel-cobalto-manganeso de generaciones anteriores, lo que reduce la preocupación de los fabricantes por la degradación acelerada de la batería en usos frecuentes de esta función.

A más largo plazo, el desarrollo de baterías de estado sólido, todavía en fase de introducción incipiente en vehículos de gama alta, promete una mayor densidad energética y una mejor tolerancia a ciclos de carga y descarga, lo que en el horizonte de esta década podría traducirse en vehículos capaces de ofrecer mayor potencia y mayor autonomía de uso en modo V2L sin

[24] Fuente: Creative Commons asociado a Research Gate.

comprometer de forma perceptible la vida útil de la batería ni la autonomía disponible para el siguiente desplazamiento.

7.2 TECNOLOGÍAS EMERGENTES Y LÍNEAS DE FUTURO.

7.2.1 ¿CÓMO SE GESTIONA EL V2L MEDIANTE APLICACIONES MÓVILES?.

Una tendencia emergente es la incorporación de aplicaciones móviles que permiten al usuario monitorizar y gestionar de forma remota el uso de la función V2L, consultar en tiempo real la potencia que se está entregando, fijar un límite de descarga que preserve un margen de autonomía mínimo para el siguiente desplazamiento, programar el encendido y apagado de la salida V2L, o recibir alertas si el nivel de batería se aproxima al umbral de seguridad configurado. Esta capa de gestión inteligente traslada al V2L una lógica de control similar a la ya consolidada en la gestión de la recarga descrita en informes anteriores, y resuelve una de las principales objeciones de los primeros usuarios de la tecnología: el temor a quedarse sin batería suficiente para circular tras un uso prolongado en modo V2L.

7.2.2 ¿CÓMO SE INTEGRA EL V2L CON LA DOMÓTICA DEL HOGAR?.

El V2L se está integrando de forma creciente en ecosistemas domóticos más amplios, en los que el vehículo deja de ser un elemento aislado para convertirse en un nodo más del sistema de gestión energética del hogar que también puede llegar a incluir baterías estacionarias a parte de las que incluirá el propio vehículo.

En este contexto, conceptos como el de "prosumidor" —usuario que produce y consume energía de forma simultánea— cobran protagonismo, apoyados en sistemas de inteligencia artificial capaces de coordinar de forma automática cuándo cargar el vehículo, cuándo emplear su energía en modo V2L o V2H, y cuándo priorizar otros consumos del hogar, en función de la disponibilidad solar, el precio de la energía y las preferencias declaradas por el usuario.

7.2.3 ¿QUÉ RELACIÓN TIENE EL V2L CON LA CARGA ULTRARRÁPIDA Y LAS BATERÍAS DE PRÓXIMA GENERACIÓN?.

El desarrollo paralelo de la carga ultrarrápida y de las arquitecturas de 800 voltios, orientado principalmente a reducir los tiempos de recarga del vehículo, tiene un efecto colateral positivo sobre la función V2L.

Los componentes de electrónica de potencia son capaces de gestionar corrientes elevadas de forma eficiente en la carga rápida y en gran medida permiten ofrecer una descarga V2L de mayor potencia y con menores pérdidas.

Se espera por ello que la próxima generación de plataformas eléctricas, diseñada desde el origen para la carga ultrarrápida, incorporen de forma casi natural capacidades de V2L más potentes que las disponibles en la generación actual, sin necesidad de un desarrollo de hardware específico y separado para cada función.

7.2.4 ¿CÓMO SE APLICA LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL A LA GESTIÓN DE LA DESCARGA?.

Más allá de la aplicación móvil de control básico descrita en apartados previos, se empieza a explorar la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático a la gestión de la función V2L en escenarios de uso recurrente, por ejemplo, en flotas de furgonetas que emplean el V2L de forma habitual como fuente de energía en obra o en eventos.

Estos sistemas aprenden el patrón de consumo típico de cada uso, anticipan la energía necesaria para completar la jornada de trabajo y ajustan de forma automática el reparto entre la energía reservada para la descarga V2L y la reservada para el desplazamiento posterior del vehículo.

8. COMUNICACIÓN PLC EN PROTECCIONES DE RED Y USO DE V2L PARA ALIMENTACIÓN DE LOS HOGARES EN MODO ISLA.

8.1 ¿CÓMO FUNCIONA EL PLC COMO MEDIO DE COMUNICACIÓN DE LAS PROTECCIONES DE RED?.

8.1.1 ¿CUÁLES SON LOS FUNDAMENTOS TÉCNICOS DEL PLC?.

El PLC (*Power Line Communication*[25]) es una tecnología que emplea el propio cableado eléctrico, ya instalado para el transporte de energía, como el medio físico de transmisión de señales de comunicación. Su principio de funcionamiento consiste en modular una onda portadora de alta frecuencia sobre la corriente eléctrica de baja frecuencia[26] que circula por la línea.

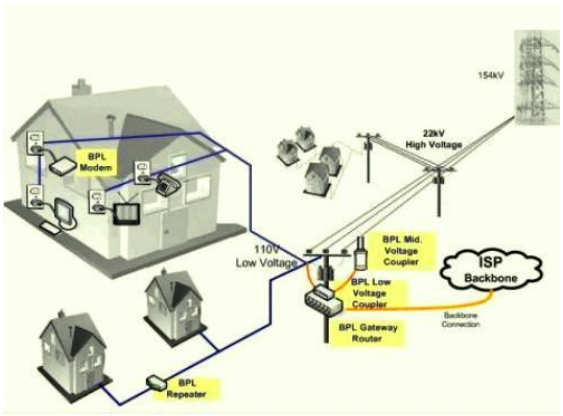


Ilustración 11.Representación del uso del PLC de banda ancha.[27]

De esta forma, la señal de comunicación viaja superpuesta a la señal de potencia sin interferir con el suministro eléctrico convencional. Un módem o interfaz de línea eléctrica (PLI, *Power Line Interface*) se encarga de modular la señal en el extremo emisor y de detectarla y demodularla en el extremo receptor, habilitando así la transmisión y recepción de datos, voz o señales de control sobre la misma infraestructura que transporta la energía.

[25] También denominado Power Line Communications, Power Line Telecommunications o Power Line Carrier según el ámbito.
[26] Esta es de 50 Hz en el caso de la frecuencia europea y de 60 Hz en el caso de la frecuencia americana.
[27] Fuente: Afinidadeléctrica.com

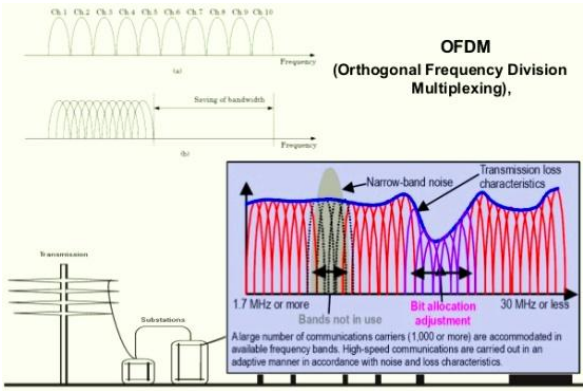


Ilustración 12.Representación de la onda portadora de información.[28]

Esta tecnología no es una novedad. Su uso en el sector eléctrico se remonta a mediados del siglo XX, cuando se empezó a emplear en aplicaciones de telecontrol de tipo todo-nada, control remoto de relés y comunicación de baja velocidad para la supervisión de líneas eléctricas, mucho antes de que se extendiera a aplicaciones de banda ancha como el acceso a internet a través de la red eléctrica doméstica (BPL, Broadband over Power Line). Esta doble naturaleza —una rama histórica de banda estrecha orientada al control y la protección, y una rama más reciente de banda ancha orientada a las comunicaciones de datos— es clave para entender su aplicación específica al ámbito de las protecciones eléctricas, que se apoya fundamentalmente en la primera[29].

Variante de PLC	Velocidad de transmisión	Aplicación Característica
PLC de banda estrecha (Narrowband PLC)	Inferior a 100 kbps.	Telecontrol de relés, señales de protección, telemedida, domótica básica.
PLC de banda ancha (Broadband PLC / BPL)	Superior a 1 Mbps, hasta 200 Mbps en implementaciones avanzadas.	Acceso a internet, redes domésticas de datos, comunicación de alta capacidad en smart grids.

[28] Fuente: Afinidadeléctrica.com

[29] Las bandas de frecuencia empleadas por el PLC están reguladas de forma diferenciada según la región geográfica —entre otras, la normativa CENELEC en Europa, la FCC en Norteamérica o la ARIB en Asia— con el fin de evitar interferencias entre distintos usos de la red eléctrica como medio de comunicación y de limitar las emisiones radiadas no deseadas, un aspecto especialmente relevante cuando el PLC convive con otras señales de telecomunicación en el mismo entorno.

8.1.2 ¿CÓMO SE APLICA EL PLC A LA COMUNICACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS?.

En el ámbito específico de las protecciones de red, el PLC se ha empleado tradicionalmente bajo la denominación de "onda portadora" o "carrier" para realizar los controles de protección de equipos de potencia y la transmisión de información de control entre subestaciones, especialmente en líneas de transporte y distribución de cierta longitud donde tender un canal de comunicación dedicado (fibra óptica, radioenlace) resultaba en el pasado más costoso que aprovechar la propia línea eléctrica como soporte de la señal de comunicación vieja superpuesta a la señal de potencia sin interferir con el suministro eléctrico convencional. Un módem o interfaz de línea eléctrica (PLI, Power Line Interface) se encarga de modular la señal en el extremo emisor y de detectarla para posteriormente demodularla en el extremo receptor, habilitando así la transmisión y recepción de datos, voz o señales de control sobre la misma infraestructura que transporta la energía.

Variante de PLC	Velocidad de transmisión orientativa	Aplicación característica
PLC de banda estrecha (Narrowband PLC)	Inferior a 100 kbps	Telecontrol de relés, señales de protección, telemedida, domótica básica
PLC de banda ancha (Broadband PLC / BPL)	Superior a 1 Mbps, hasta 200 Mbps en implementaciones avanzadas	Acceso a internet, redes domésticas de datos, comunicación de alta capacidad en smart grids

Las bandas de frecuencia empleadas por el PLC están reguladas de forma diferencia según la región geográfica —entre otras, la normativa CENELEC en Europa, la FCC en Norteamérica o la ARIB en Asia— con el fin de evitar interferencias entre distintos usos de la red eléctrica como medio de comunicación y de limitar las emisiones radiadas no deseadas, un aspecto especialmente relevante cuando el PLC convive con otras señales de telecomunicación en el mismo entorno.

8.1.3 ¿QUÉ VENTAJAS, LIMITACIONES Y RETOS TÉCNICOS TIENE EL PLC EN PROTECCIONES ASOCIADAS AL V2L?

- ***Teleprotección diferencial de línea:*** compara en tiempo real las magnitudes eléctricas medidas en ambos extremos de una línea para detectar de forma selectiva y rápida un fallo interno, requiriendo un canal de comunicación fiable y de baja latencia entre las protecciones de ambos extremos.
- ***Disparo transferido (transfer trip):*** orden de apertura de un interruptor en un extremo de la línea enviada desde la protección del extremo opuesto, empleada cuando la falta solo es detectada de forma clara por una de las dos protecciones.

- ***Bloqueo y comparación direccional de sobrecorriente:*** intercambio de señales binarias entre protecciones adyacentes para coordinar su actuación y evitar disparos innecesarios ante faltas externas a su zona de protección.
- ***Telemedida y telecontrol de posición de interruptores y seccionadores:*** transmisión del estado de los elementos de corte de la subestación hacia el centro de control, complementaria a la función de protección propiamente dicha.

La principal ventaja del PLC en este contexto es de tipo económico y logístico: al reutilizar la propia línea de alta o media tensión como soporte de comunicación, evita la necesidad de tender un cableado de comunicaciones dedicado (fibra óptica) en trazados donde esto resulta especialmente costoso, como líneas de gran longitud en zonas de orografía compleja, o donde la servidumbre de paso para un nuevo cable de comunicaciones plantea dificultades administrativas o de terreno adicionales a las ya existentes para la propia línea eléctrica. Esta ventaja resulta particularmente relevante en el contexto asturiano, con una parte significativa de su red de transporte y distribución discurriendo por zonas de montaña y valles de difícil acceso, donde el despliegue de fibra óptica dedicada puede resultar sustancialmente más costoso que en entornos llanos o urbanos.

Más allá de la protección de líneas de transporte, el PLC de banda estrecha se ha consolidado como una de las tecnologías de comunicación de referencia en el despliegue de redes eléctricas inteligentes, donde permite la comunicación entre contadores inteligentes, centros de transformación y sistemas de gestión de la distribuidora sin necesidad de infraestructura de comunicaciones adicional, resultando esencial para facilitar la gestión de la demanda y del consumo energético, así como para mejorar la eficiencia y la seguridad de las redes eléctricas.

Pese a sus ventajas, el uso del PLC como canal de comunicación de protecciones presenta limitaciones técnicas que deben tenerse en cuenta en cualquier propuesta de despliegue o modernización.

Limitación	Efecto sobre la aplicación de protección
Ruido e interferencias electromagnéticas	La red eléctrica es un medio no diseñado originalmente para comunicaciones, el ruido de conmutación de cargas, arcos eléctricos o equipos de electrónica de potencia puede degradar la señal PLC.
Atenuación dependiente de la topología de la red	La señal se atenúa de forma distinta según el tipo de línea, la presencia de transformadores intermedios o derivaciones, lo que exige un diseño específico para cada tramo.
Naturaleza de medio compartido	En redes de baja tensión, la señal PLC puede ser compartida por un número elevado de usuarios conectados al mismo tramo, lo que limita la capacidad disponible y plantea retos de seguridad de la información.

Limitación	Efecto sobre la aplicación de protección
Cableado sin blindaje adecuado	Los cables de distribución, no diseñados para comunicaciones, pueden actuar como antenas emisoras y receptoras de ruido, complicando la extracción de la señal útil.
Latencia en aplicaciones de banda estrecha	Las variantes de menor velocidad, si bien más robustas, pueden no ser adecuadas para las funciones de protección más exigentes en tiempo de respuesta, como la tele protección diferencial de alta velocidad.

A estas limitaciones técnicas se suma un reto de ciberseguridad: al tratarse de un medio de comunicación que comparte físicamente la infraestructura eléctrica, resulta necesario implementar medidas específicas de protección —cifrado de la información y despliegue de cortafuegos en los nodos PLC— para prevenir accesos no autorizados a un canal que, por su propia naturaleza de medio compartido, es más expuesto que un enlace de fibra óptica punto a punto dedicado.

8.1.4 SOLUCIONES PROPUESTAS PARA EL USO DE PLC EN PROTECCIONES DE RED.

Frente a las limitaciones descritas, la literatura técnica y la práctica del sector eléctrico proponen un conjunto de soluciones que permiten mantener el PLC como una alternativa viable y eficiente para la comunicación de protecciones, en particular en los tramos de red donde el despliegue de fibra óptica no resulta económicamente justificable.

El empleo de técnicas de modulación de espectro ensanchado y de codificación con corrección de errores permite que la señal PLC mantenga su integridad incluso en presencia de ruidos[30] e interferencias, mejorando la fiabilidad de la comunicación de protecciones frente a las técnicas de modulación más simples empleadas en las primeras generaciones de esta tecnología. Estas técnicas, ya extendidas en las variantes modernas de PLC de banda estrecha empleadas en *smart grids*, resultan directamente aplicables a la comunicación de protecciones, donde la fiabilidad del canal es un requisito específico.

Una de las soluciones más extendidas en la práctica es la combinación del PLC con otros medios de comunicación —fibra óptica en los tramos de mayor exigencia de velocidad y fiabilidad, radioenlace o comunicaciones móviles de nueva generación como refuerzo— en una arquitectura híbrida en la que el PLC actúa como canal principal en los tramos de menor exigencia o de más difícil acceso, y como canal de respaldo (redundancia) en los tramos críticos ya dotados de fibra óptica, aumentando así la resiliencia global del sistema de protección ante un eventual fallo de cualquiera de los dos medios.

[30] Perturbación, distorsión o señal no deseada que se mezcla con la señal original y altera su forma, contenido o pureza.

Para mitigar el problema del PLC como medio compartido en redes de baja tensión, se proponen soluciones de segmentación de la red de comunicaciones mediante repetidores y concentradores que limitan el número de nodos que comparten un mismo segmento físico, junto con protocolos de acceso al medio que priorizan el tráfico de protección y control frente al tráfico de datos de menor criticidad, garantizando así que las señales de protección, más sensibles a la latencia, no queden degradadas por la congestión de otro tipo de tráfico sobre el mismo canal.

Frente al reto de seguridad derivado de la naturaleza compartida del medio, se recomienda el despliegue de cifrado extremo a extremo en las comunicaciones PLC empleadas para protección, junto con cortafuegos dedicados en los concentradores y nodos de comunicación, siguiendo el mismo enfoque de protección aplicado en el resto de infraestructuras de comunicación de la *smart grid*, de forma que el uso del PLC no introduzca una vulnerabilidad adicional en el sistema de protección de la red.

Dado que la atenuación y el comportamiento del canal PLC dependen fuertemente de la topología concreta de cada tramo de red, sería necesario realizar una caracterización técnica previa de la línea —mediante medidas de respuesta en frecuencia y de nivel de ruido— antes de decidir el despliegue de comunicación de protecciones basada en PLC, de forma que la solución se adapte a las condiciones reales del tramo y no se generalice de forma automática una tecnología que puede no ser adecuada para determinadas configuraciones de red, como líneas con múltiples derivaciones o transformadores intermedios que introducen una atenuación elevada de la señal.

8.2 ¿CÓMO SE USA EL V2L PARA ALIMENTAR HOGARES EN MODO ISLA?.

8.2.1 ¿QUÉ ES EL MODO ISLA Y CUÁL ES EL PAPEL DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO?.

Se denomina el modo isla a la situación en la que una instalación eléctrica, bien sea una vivienda, edificio o una parte de la red queda eléctricamente desconectada de la red de distribución general, ya sea por un corte de suministro no planificado (apagón) o de forma deliberada, y continúa operando de forma autónoma mediante fuentes de generación o almacenamiento propias. En el contexto del vehículo eléctrico, este concepto cobra especial relevancia a raíz de episodios recientes de cortes de suministro de gran escala, que han puesto de manifiesto el interés práctico de emplear la batería del vehículo eléctrico, habitualmente de una capacidad muy superior a la de cualquier batería doméstica portátil, como fuente de energía de emergencia capaz de mantener operativa una vivienda durante el tiempo que dure la incidencia.

La tecnología V2L es la más sencilla y extendida de las modalidades de carga bidireccional aplicables a este escenario: permite emplear la batería del vehículo como fuente de energía portátil sin necesidad de instalación fija ni de modificación de la instalación eléctrica de la vivienda, mediante un adaptador conectado al puerto de carga o una toma integrada en el propio vehículo.

8.2.2 ¿EN QUÉ SE DIFERENCIAN EL V2L Y EL V2H EN MODO ISLA?.

Resulta importante delimitar con precisión qué puede y qué no puede hacer el V2L en un escenario de modo isla, distinguiéndolo de la tecnología V2H (*Vehicle-to-Home*), con la que a menudo se confunde en el discurso divulgativo pero que presenta un alcance y unos requisitos de instalación sustancialmente distintos.

Aspecto	V2L (Vehicle-to-Load)	V2H (Vehicle-to-Home)
Punto de conexión	Toma de corriente independiente (interior, maletero o adaptador al puerto de carga).	Cuadro eléctrico principal de la vivienda, a través de un cargador bidireccional.
Alcance de la alimentación	Dispositivos y electrodomésticos individuales conectados directamente.	Toda la vivienda o los circuitos esenciales predefinidos (nevera, iluminación, calefacción, seguridad).
Instalación necesaria	Ninguna, o un adaptador, no requiere intervención de electricista.	Cargador bidireccional, interruptor de transferencia.
Coste y complejidad	Bajo, solución inmediata y de bajo coste.	Medio-alto, requiere proyecto e instalación eléctrica específica.
Seguridad frente a realimentación de la red	No aplica, al no conectarse al cuadro eléctrico general.	Crítica, requiere sistema anti-isla[31] certificado para evitar realimentar la línea de la distribuidora durante un corte.

El V2L, tal y como está disponible hoy en la mayoría de vehículos eléctricos del mercado, no permite por sí solo poner en modo isla una vivienda completa conectándose a su cuadro eléctrico, sino que se limita a alimentar de forma directa e independiente los dispositivos que se conecten a su toma de salida. Para lograr una alimentación de modo isla de la vivienda en su conjunto —incluyendo la red eléctrica interior existente, la iluminación fija o el sistema de calefacción— es necesaria la tecnología V2H, con su correspondiente equipo de transferencia e instalación certificada.

[31] Un sistema eléctrico anti-isla es un mecanismo de seguridad en inversores solares que apaga y desconecta la fuente de energía local de la red general cuando ocurre un apagón.

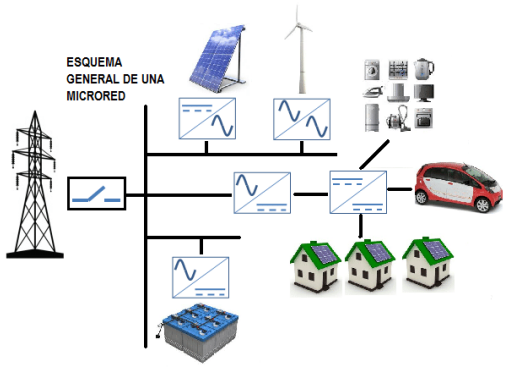


Ilustración 13.Representación de una Microrred en modo Isla[32]

8.2.3 ¿QUÉ REQUISITOS TÉCNICOS EXIGE UNA ALIMENTACIÓN SEGURA EN MODO ISLA?.

Con independencia de si se emplea V2L de forma directa sobre dispositivos concretos o V2H sobre la instalación completa de la vivienda, cualquier escenario de alimentación en modo isla mediante vehículo eléctrico debe respetar un conjunto de requisitos técnicos de seguridad, especialmente relevantes cuando existe posibilidad de conexión, aunque sea parcial, con la instalación eléctrica de la vivienda.

El requisito de seguridad más crítico en cualquier escenario de modo isla conectado al cuadro eléctrico de la vivienda —es decir, en el caso de V2H, no de V2L puro— es el de garantizar que la energía cedida por el vehículo no pueda realimentar la línea de la distribuidora durante un corte de suministro, una condición conocida como protección anti-isla. Esta función es indispensable por razones de seguridad para el personal de la distribuidora que pueda estar trabajando en la línea durante la incidencia, y se implementa mediante un interruptor que desconecta físicamente la instalación de la vivienda de la red exterior antes de habilitar la alimentación desde el vehículo.

La instalación debe incorporar un medidor de energía, habitualmente un medidor de corriente tipo CT[33] que permita monitorizar en tiempo real el flujo de energía entre el vehículo, la vivienda y en este la caso la red eléctrica, situado en el punto de conexión principal, de forma que el sistema de gestión pueda priorizar los circuitos esenciales de la vivienda y evitar una demanda superior a la que el vehículo puede suministrar de forma sostenida.

Dado que la potencia disponible en modo V2L o V2H es limitada frente al consumo simultáneo de una vivienda completa, y que la energía disponible en la batería del vehículo es finita, resulta indispensable establecer una jerarquía de cargas esenciales —refrigeración de alimentos, iluminación básica, sistemas de comunicación y seguridad, y, en su caso, equipos médicos dependientes de electricidad— que se mantengan alimentadas de forma prioritaria, relegando

[32] Fuente: Creative Commons asociado a Research Gate.
[33] Un medidor de transformador de corriente no mide la corriente directamente como un amperímetro estándar. En cambio, se basa en Transformadores actuales (CTS) Para convertir altos valores de corriente en niveles más bajos y más manejables que el medidor puede leer de manera segura.

otros consumos de menor criticidad (climatización completa, electrodomésticos de alto consumo) para preservar la autonomía disponible durante el mayor tiempo posible.

Cualquier solución de modo isla basada en el vehículo eléctrico debe incorporar un límite de descarga configurable que garantice que, tras el uso como fuente de energía de emergencia, el vehículo conserve una reserva de batería suficiente para su función principal de movilidad, evitando que el usuario se encuentre, al finalizar la incidencia, con un vehículo sin autonomía suficiente para desplazamientos esenciales, incluyendo la propia necesidad de acudir a un punto de recarga.

8.2.4 ¿QUÉ SOLUCIONES SE PROPONEN PARA ALIMENTAR HOGARES EN MODO ISLA MEDIANTE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS?.

A partir de los requisitos anteriores, se identifican las siguientes líneas de solución, de menor a mayor grado de integración con la instalación de la vivienda, para emplear el vehículo eléctrico como fuente de energía en un escenario modo isla.

La solución más inmediata y de menor coste consiste en emplear el V2L de forma directa, mediante el adaptador o toma integrada del vehículo, para alimentar de forma independiente los equipos más críticos del hogar que puedan conectarse de forma portátil: una nevera portátil o el propio frigorífico si se puede desplazar su conexión, equipos de comunicación (router, cargadores de móvil), iluminación de emergencia mediante regletas o lámparas portátiles, y pequeños electrodomésticos esenciales. Esta solución no requiere instalación ni intervención de electricista y está disponible de forma inmediata en la práctica totalidad de vehículos con función V2L, si bien no permite alimentar los circuitos fijos de la vivienda (iluminación empotrada, calefacción centralizada, electrodomésticos de gran potencia no portátiles).

Una evolución de la solución anterior, cada vez más presente en el mercado de accesorios para vehículo eléctrico, consiste en emplear un pequeño cuadro de distribución portátil, alimentado desde la salida V2L del vehículo, que permite repartir la energía disponible entre varios circuitos de emergencia predefinidos (por ejemplo, un circuito de iluminación de emergencia y un circuito para el frigorífico) sin necesidad de intervenir en el cuadro eléctrico fijo de la vivienda. Esta solución mejora la organización y priorización de cargas frente al uso de regletas sueltas, manteniendo el bajo coste y la ausencia de instalación fija características del V2L.

La solución de mayor alcance, ya asentada comercialmente con productos como el cargador bidireccional[34], consiste en la instalación de un cargador bidireccional conectado al cuadro eléctrico principal de la vivienda a través de un interruptor de transferencia con protección anti-isla certificada, lo que permite alimentar la vivienda completa —o los circuitos esenciales predefinidos por el usuario— de forma automática ante un corte de suministro, sin intervención manual del usuario y con las garantías de seguridad necesarias frente a la realimentación de la red exterior. Esta solución requiere un vehículo compatible con carga bidireccional en corriente

[34] Del tipo Wallbox Quasar 2

continua o alterna según el modelo de cargador, y una instalación eléctrica certificada por un profesional.

La solución más avanzada, orientada a maximizar tanto la autosuficiencia energética habitual de la vivienda como su resiliencia en modo isla, combina la instalación V2H descrita en el punto anterior con una instalación fotovoltaica de autoconsumo, en su caso, una batería estacionaria adicional, de forma que durante un corte de suministro prolongado la vivienda pueda combinar la energía almacenada en el vehículo con la generación solar disponible en tiempo real, ampliando de forma significativa la autonomía frente a una solución basada únicamente en la batería del vehículo. Esta configuración es la que ofrece mayor resiliencia, con estimaciones de autonomía de varios días para un consumo doméstico básico a partir de una batería de vehículo de entre 60 y 80 kWh, resulta especialmente adecuada para viviendas unifamiliares en zonas rurales asturianas con riesgo de cortes de suministro prolongados (por causas meteorológicas u otras razones).

Más allá del ámbito de la vivienda individual, se plantea como línea de solución a medio plazo la extensión de este concepto a escala de comunidad energética o de barrio, mediante microrredes vecinales capaces de operar en modo isla apoyadas en el conjunto de vehículos eléctricos conectados en ese momento a los puntos de recarga de la comunidad, en combinación con la generación renovable distribuida y el almacenamiento descritos en otros informes de FAEN. Esta solución, de mayor complejidad técnica y regulatoria, resulta especialmente relevante para las comunidades energéticas rurales asturianas ya activas, que podrían explorarla como una extensión natural de su modelo de gestión energética colectiva ante episodios de corte de suministro que afecten a todo un núcleo rural.

Solución[35]	Alcance	Instalación requerida	Idoneidad
V2L directo sobre cargas portátiles	Dispositivos individuales.	Ninguna (adaptador incluido o de bajo coste).	Cualquier usuario, respuesta inmediata ante emergencia.
V2L + cuadro de emergencia portátil	Varios circuitos de emergencia predefinidos.	Accesorio de bajo coste, sin intervención en la instalación fija.	Usuarios que buscan mayor organización sin instalación permanente.
V2H con interruptor de transferencia	Vivienda completa o circuitos esenciales fijos.	Cargador bidireccional + instalación certificada.	Viviendas con riesgo recurrente de corte de suministro.

[35] Fuentes: Energy Theory, Cargacar, Beny, Workersbee, La Casa Domótica, Renovables Verdes, Powy y Gaman Mobility, consultadas en agosto de 2026, en el contexto de episodios recientes de cortes de suministro en España.

Solución[35]	Alcance	Instalación requerida	Idoneidad
V2H + fotovoltaica + almacenamiento	Vivienda completa con autonomía ampliada.	Instalación completa de generación, almacenamiento y V2H.	Viviendas rurales con alto valor de la resiliencia energética.
Microrred vecinal apoyada en flota de VE	Núcleo de población o comunidad energética.	Infraestructura de microrred y coordinación de flota.	Comunidades energéticas rurales asturianas.

8.3 CONCLUSIONES.

- El PLC constituye una tecnología madura para la comunicación de protecciones de red, particularmente valiosa en los tramos de mayor dificultad de despliegue de fibra óptica dedicada, como buena parte de la red de transporte y distribución asturiana en zonas de orografía compleja.
- Las limitaciones del PLC —ruido, atenuación variable, naturaleza de medio compartido y riesgos de ciberseguridad— cuentan con soluciones técnicas ya consolidadas (modulación avanzada, arquitecturas híbridas con fibra óptica, segmentación del medio y cifrado reforzado) que permiten su empleo seguro y fiable en aplicaciones de protección cuando se diseñan de forma adaptada a la topología concreta de cada tramo de red.
- El V2L es una solución inmediata, de bajo coste y sin necesidad de instalación para alimentar dispositivos críticos en un escenario de modo isla, pero su alcance está limitado a cargas portátiles y no permite, por sí solo, poner en modo isla la instalación eléctrica completa de una vivienda.
- La alimentación en modo isla de una vivienda completa requiere necesariamente tecnología V2H, con interruptor de transferencia y protección anti-isla certificada, un salto de complejidad e inversión frente al V2L que debe explicarse con claridad para evitar expectativas erróneas sobre lo que el V2L puede ofrecer en una emergencia.
- La combinación de V2H con generación fotovoltaica y almacenamiento estacionario constituye la solución de mayor resiliencia para viviendas individuales, mientras que la extensión de este concepto a microrredes vecinales apoyadas en flotas de vehículos eléctricos representa la vía de mayor valor estratégico para las comunidades energéticas rurales asturianas ante episodios de corte de suministro prolongado.

9. ¿QUÉ IMPACTO ECONÓMICO, SOCIAL Y AMBIENTAL PUEDE TENER EL V2L EN ASTURIAS?.

Se puede analizar el impacto de la tecnología V2L desde tres perspectivas complementarias: económica, social y ambiental, particularizando su aplicación al contexto asturiano. El análisis económico presta especial atención a un factor con frecuencia infravalorado en los informes divulgativos sobre esta tecnología: el coste derivado de la degradación del batería asociado al uso del vehículo como fuente de energía, y desarrolla cálculos orientativos sobre tres escenarios: el hogar medio, una flota de vehículos con batería estacionaria y generación fotovoltaica, y un escenario de industria y almacenamiento a mayor escala.

9.1 ¿CÓMO AFECTARÍA EL V2L A LA DEGRADACIÓN DE LA BATERÍA?.

El razonamiento económico habitual sobre V2L y la carga bidireccional pone el foco en el ahorro que genera para el usuario: evitar la compra de un generador, desplazar consumo a horas baratas o aprovechar excedentes solares.

Sin embargo, cualquier valoración económica rigurosa debe incorporar también el coste que supone el desgaste adicional de la batería del vehículo cuando esta se somete a ciclos de descarga adicionales a los propios de la movilidad, un coste que no aparece en la factura eléctrica del usuario pero que, si materializa, con el tiempo, en la pérdida de valor residual del vehículo y en un eventual adelanto de la sustitución del paquete de baterías.

Los grandes estudios de flota publicados entre 2024 y 2026 —que analizan de forma conjunta e independiente decenas de miles de baterías en uso real— sitúan la degradación media de una batería de vehículo eléctrico moderna en un rango de en torno al 1,8-2,3 % de pérdida de capacidad por año de uso convencional (es decir, sin someterse a ciclos adicionales de V2L o V2G), con estimaciones alternativas de en torno al 1 % de pérdida de capacidad por cada 25.000 km recorridos. Bajo un uso convencional, esto se traduce en una pérdida de autonomía de entre el 10 % y el 15 % tras cinco años de uso, y las baterías modernas de ion-litio suelen tolerar más de 1.000 ciclos completos de carga antes de que su capacidad caiga por debajo del 80 % de la original, lo que equivale a varios cientos de miles de kilómetros de uso normal en la mayoría de los casos.

Sobre esta base de degradación “natural” por movilidad, la pregunta relevante para el V2L es cuanto añade el uso adicional en modo descarga. La literatura técnica y los propios fabricantes de sistemas de carga bidireccional coinciden en que, cuando la profundidad y frecuencia de los ciclos de descarga se gestionan de forma adecuada mediante el sistema de gestión de batería (BMS) —evitando descargas muy profundas y limitando la frecuencia de uso intensivo—, el efecto adicional sobre la degradación puede ser reducido, e incluso similar o ligeramente inferior al de la propia carga convencional en determinados patrones de uso, gracias a que el uso en V2L suele producirse a potencias moderadas y no de forma diaria en la mayoría de los usuarios domésticos.

Para poder trasladar la degradación a un coste económico, es necesario partir de una referencia de coste de sustitución de la batería. En el mercado español de 2026, sustituir el paquete de batería de un vehículo eléctrico tiene un coste que puede variar entre 5.000 y 15.000 €, pudiendo superar los 20.000 € en modelos premium de mayor capacidad. Conviene distinguir este precio final —que incluye mano de obra, margen del fabricante y, en ocasiones, el pack completo, aunque solo unas pocas celdas estén degradadas— del coste industrial por kWh de las celdas, sensiblemente inferior y en tendencia descendente.

Parámetro de Referencia[36]	Valor Orientativo
Coste medio de sustitución de batería (turismo, 50-60 kWh)	8.000 - 10.000 € (rango 5.000-15.000 €)
Degradación media anual por uso convencional[37]	1,8 - 2,3 % de capacidad/año
Ciclos completos hasta el 80 % de capacidad (referencia fabricante)	> 1.000 ciclos
Sobrecoste de degradación atribuible a V2L bien gestionado	Reducido; del orden de una fracción adicional pequeña sobre la degradación convencional cuando se limita profundidad y frecuencia de descarga

9.2 ¿QUÉ IMPACTO TENDRÍA EL V2L EN UN HOGAR MEDIO ASTURIANO?

Se plantea el caso de un hogar asturiano con un vehículo eléctrico de baterías de 60 kWh, que emplea de forma ocasional la función V2L para alimentar pequeños equipos domésticos, apoyo puntual en emergencias y actividades de ocio (camping, herramientas), con un uso estimado de 150 kWh cedidos al año a través de V2L, equivalente a un uso moderado y muy inferior al de la carga diaria de movilidad del vehículo.

Concepto	Cálculo	Valores Orientativos
Energía cedida anual en V2L	Uso ocasional estimado	150 kWh/año

[36] Fuentes: KCH Comunicación/estudio Carla (Suecia, 2022-2026), Autonomía Coches Eléctricos (síntesis de 5 estudios de flota 2024-2026, Geotab, Arval), Go-Electra, Iberdrola (V2G) y EVenergia, consultadas en agosto de 2026

[37] Los valores de sustitución y degradación son orientativos y varían según modelo, química de batería y patrón de uso

Concepto	Cálculo	Valores Orientativos
Coste evitado (sustitución de generador portátil/red en esos usos)	150 kWh × 0,25 €/kWh (coste evitado de energía o combustible sustituido)	≈ 37,5 €/año
Ciclos equivalentes adicionales sobre la batería	150 kWh ÷ 60 kWh de capacidad	2,5 ciclos equivalentes/año
Coste de degradación atribuible (estimación conservadora)	2,5 ciclos × (8.000 € ÷ 1.000 ciclos de vida útil)	≈ 20 €/año
Balance económico neto anual del uso de V2L en el hogar	37,5 € (ahorro) − 20 € (degradación)	Positivo, del orden de +17,5 €/año

Este cálculo es una simplificación, tiene un carácter orientativo y en ningún caso sustituye a un análisis financiero en profundidad, pero ilustra una conclusión relevante: para un patrón de uso doméstico ocasional del V2L, propio de la inmensa mayoría de usuarios particulares, el balance económico neto es positivo pero modesto; y el coste de degradación —aun aplicando una hipótesis conservadora que atribuye el desgaste íntegro de forma lineal al número de ciclos— resulta significativamente inferior al ahorro obtenido. El V2L en el hogar medio asturiano no debe entenderse, por tanto, como una fuente relevante de ingresos o ahorro sistemático, sino como una función de conveniencia y de resiliencia ante emergencias cuyo coste de oportunidad en términos de desgaste de batería es reducido si el uso se mantiene moderado.

9.3 ¿QUÉ IMPACTO TENDRÍA EL V2L EN UNA FLOTA CON BATERÍA ESTACIONARIA Y GENERACIÓN FOTOVOLTAICA?

Se plantea el análisis de una pequeña flota de 10 furgonetas eléctricas de una empresa o comunidad energética asturiana, en el que cada vehículo tendría una capacidad estimada de 70 kWh, que se cargarían preferentemente mediante una instalación fotovoltaica de autoconsumo de 100 kWp asociada a una batería estacionaria de 200 kWh. Esta actuaría como buffer entre la generación solar y la recarga de la flota, permitiendo cargar los vehículos también en horas sin sol. Las furgonetas emplean V2L de alta potencia de forma habitual en horario laboral, con un uso estimado de 3.000 kWh cedidos al año en el conjunto de la flota.

Concepto	Cálculo	Resultado Orientativo
Energía cedida anual en V2L (conjunto de la flota)	Uso profesional intensivo estimado.	3.000 kWh/año.

Concepto	Cálculo	Resultado Orientativo
Coste evitado (sustitución de generador diésel profesional)	3.000 kWh × 0,35 €/kWh (coste equivalente de generador diésel: combustible + mantenimiento).	≈ 1.050 €/año.
Ciclos equivalentes adicionales sobre el conjunto de la flota	3.000 kWh ÷ (10 × 70 kWh = 700 kWh de capacidad total).	≈ 4,3 ciclos equivalentes/año por vehículo.
Coste de degradación atribuible (conjunto de la flota)	3.000 kWh ÷ 1.000 ciclos de vida útil × 8.500 €/vehículo (coste medio de sustitución) ÷ 70 kWh.	≈ 365 €/año.
Ahorro adicional por carga con excedente fotovoltaico frente a red	3.000 kWh equivalentes de recarga cubiertos con solar × 0,12 €/kWh de diferencial frente a tarifa de red.	≈ 360 €/años adicionales.
Balance económico neto anual del escenario de flota	1.050 € + 360 € (ahorros) − 365 € (degradación).	Positivo, del orden de +1.045 €/año.

Este segundo escenario muestra un patrón distinto al del hogar medio: el uso intensivo del V2L, sustituyendo generadores diésel de obra o de eventos, genera un ahorro sustancialmente mayor que el coste de degradación asociado, incluso bajo una estimación conservadora de este último. La incorporación de la batería estacionaria y la generación fotovoltaica no solo reduce el coste de la energía empleada para recargar la flota, sino que además amortigua la profundidad de los ciclos de descarga soportados directamente por los vehículos, al poder recurrir a la batería estacionaria como fuente adicional de energía en momentos de máxima demanda, lo que en la práctica reduce el desgaste atribuible a cada vehículo individual frente a un escenario sin batería estacionaria de apoyo.

9.4 ¿QUÉ IMPACTO TENDRÍA EL V2L A ESCALA INDUSTRIAL?

El último escenario planteado será uno de mayor escala: un polígono industrial con una flota de unos 40 vehículos ligeros y furgonetas que además cuenta con una instalación fotovoltaica de 500 kWp y un sistema de almacenamiento estacionario de 1 MWh, en la que la energía cedida por los vehículos V2L de alta potencia se emplea de forma sistemática como apoyo energético en procesos puntuales de producción y como reserva de emergencia ante cortes de suministro que afecten a las líneas de producción sensibles.

Concepto	Cálculo	Resultado Orientativo
Energía cedida anual en V2L (conjunto de la instalación)	Uso industrial sistemático estimado.	18.000 kWh/año.
Coste evitado (sustitución de generadores industriales + continuidad de producción)	18.000 kWh × 0,40 €/kWh (incluye valor de continuidad operativa, superior al de un uso doméstico u ocasional).	≈ 7.200 €/año.
Ciclos equivalentes adicionales sobre el conjunto de la flota	18.000 kWh ÷ (40 × 65 kWh ≈ 2.600 kWh de capacidad total).	≈ 6,9 ciclos equivalentes/año por vehículo.
Coste de degradación atribuible (conjunto de la flota)	18.000 kWh ÷ 1.000 ciclos de vida útil × 8.500 €/vehículo ÷ 65 kWh.	≈ 2.354 €/año.
Balance económico neto anual del escenario industrial	7.200 € (ahorro) − 2.354 € (degradación).	Positivo, del orden de +4.846 €/año.

El escenario industrial confirma la tendencia apuntada por los dos casos anteriores: a mayor escala e intensidad de uso, el ahorro absoluto generado como el coste de degradación asociado, pero el balance neto se mantiene claramente positivo siempre que el valor evitado (continuidad de producción, sustitución de generadores, sin cortes en procesos sensibles) sea significativamente superior al coste energético convencional, como es habitual en entornos industriales donde el coste de una interrupción de suministro supera con creces el precio de la energía en sí misma. No obstante, a esta escala cobra mayor relevancia gestionar de forma activa la profundidad de los ciclos de descarga mediante el sistema de gestión de batería y el buffer de almacenamiento estacionario, para evitar que el desgaste acumulado obligue a una sustitución prematura de packs de batería de varios vehículos de forma simultánea, lo que generaría un pico de coste de sustitución concentrado en el tiempo.

9.5 ¿QUÉ IMPACTO SOCIAL TIENE EL V2L EN ASTURIAS?.

Más allá del balance económico, la implantación de la tecnología V2L en Asturias tiene efectos sociales que conviene valorar de forma diferenciada según el tipo de usuario y de territorio. El V2L aporta un valor social especialmente relevante en las zonas rurales asturianas, donde la mayor dispersión de la población y el estado de parte de la red de baja tensión se traducen en un riesgo más elevado de cortes de suministro prolongados que en el área central de la región. Disponer de una fuente de energía de emergencia asociada al propio vehículo reduce la vulnerabilidad de estos hogares ante incidencias meteorológicas adversas, un fenómeno de

creciente relevancia en el contexto de eventos climáticos extremos, y contribuye a una cierta equidad territorial frente a las zonas urbanas, mejor dotadas de infraestructura de red.

La aceptación social del V2L está condicionada por la percepción del usuario sobre el riesgo de degradación de su batería, un temor que, como se ha visto en el apartado económico, resulta en la práctica menos severo de lo que la percepción popular sugiere cuando el uso se gestiona de forma adecuada. La brecha entre percepción y evidencia técnica —alimentada por experiencias tempranas y poco representativas de la tecnología, como las de las primeras generaciones de vehículos eléctricos con sistemas de refrigeración de batería menos maduros— constituye en sí misma un reto social que debe abordarse mediante comunicación clara y basada en datos.

La extensión del V2L y de la carga bidireccional genera, como se ha señalado en otros informes, una demanda creciente de perfiles técnicos especializados en electrónica de potencia, gestión de baterías e instalación de sistemas bidireccionales, una oportunidad de cualificación profesional para el tejido formativo asturiano (formación profesional, universidad) vinculada a la transición energética regional.

9.6 ¿QUÉ IMPACTO AMBIENTAL TENDRÍA EL V2L EN ASTURIAS?

El impacto ambiental del V2L en Asturias debe valorarse tanto en su vertiente positiva como en los matices que introduce el propio ciclo de vida de la batería.

El efecto ambiental más directo del V2L es la sustitución de generadores diésel o de gasolina en usos de ocio, obra, eventos, etc., evitando las emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes locales (partículas, óxidos de nitrógeno) asociadas a su combustión, así como el ruido característico de estos equipos, un beneficio especialmente relevante.

El uso del V2L, al incrementar en cierta medida el número de ciclos de la batería a lo largo de su vida útil, adelanta —aunque de forma moderada según lo analizado en el apartado económico— el momento en que la batería deja de ser apta para su función de tracción. Este efecto debe enmarcarse, sin embargo, en una perspectiva de economía circular: las baterías que alcanzan el fin de su vida útil en el vehículo conservan habitualmente una capacidad residual relevante (en torno al 70-80 % de la original), lo que las hace aptas para una segunda vida en aplicaciones estacionarias de menor exigencia, como las propias baterías estacionarias descritas en los escenarios de flota e industria de este informe, cerrando así un ciclo de aprovechamiento que reduce el impacto ambiental neto asociado a la fabricación de nuevas baterías.

Cuando el V2L se combina con generación fotovoltaica y baterías estacionarias, como en los escenarios 2 y 3, contribuye además de forma indirecta a la integración de energía renovable en el sistema, al facilitar el aprovechamiento de excedentes solares que de otro modo podrían verterse a la red o desaprovecharse, reforzando el efecto ambiental positivo de la tecnología más allá de la sustitución directa de generadores de combustión.

10. ¿QUÉ RETOS Y PERSPECTIVAS DE FUTURO EXISTEN PARA LA IMPLANTACIÓN DEL V2L?

10.1 REGULACIÓN.

El marco regulatorio aplicable a la carga bidireccional y específicamente al V2L se encuentra en una fase de desarrollo activo en España y la Unión Europea, con implicaciones directas sobre el ritmo al que está la tecnología podrá desplegarse de forma plena en Asturias.

El Real Decreto 88/2026 ha sentado las bases del marco de agregación de energía en España, y la modificación del Procedimiento de Operación 7.5 por parte de la CNMC ha reforzado el marco de respuesta de la demanda, ambos elementos relevantes para el desarrollo de las modalidades más avanzadas de carga bidireccional (V2H, V2G). El V2L, al no requerir conexión con el cuadro eléctrico de la vivienda ni con la red de distribución, queda en gran medida al margen de esta regulación específica, lo que constituye una de sus ventajas prácticas frente a V2H y V2G: su uso no requiere de autorización administrativa adicional ni de contrato de agregación, y puede desplegarse de forma inmediata sin depender del ritmo de desarrollo regulatorio de las modalidades más complejas de carga bidireccional.

Se identifican los siguientes retos regulatorios específicos:

- Ausencia de normativa técnica específica sobre las condiciones de seguridad eléctrica de los adaptadores V2L comercializados en el mercado de accesorios, un segmento en el que conviven productos homologados por el propio fabricante del vehículo con adaptadores genéricos de terceros de calidad y seguridad variable.
- Falta de criterios armonizados a nivel europeo sobre la garantía de la batería en relación con el uso de funciones de descarga bidireccional, lo que genera incertidumbre en el usuario sobre si un uso intensivo del V2L podría poner en riesgo la cobertura de garantía del fabricante del vehículo.
- Indefinición sobre la fiscalidad aplicable a los usos profesionales e industriales del V2L (escenarios 2 y 3 de este informe), en los que la energía cedida por la flota podría llegar a considerarse, en determinados supuestos de uso sistemático, como una actividad de suministro energético sujeta a un tratamiento fiscal específico, cuestión que debería clarificarse a medida que este tipo de usos se generalice.
- Necesidad de que la futura obligatoriedad de la carga bidireccional en determinados segmentos de vehículo nuevo, en discusión en el ámbito europeo, se acompañe de estándares de interoperabilidad plenamente definidos antes de su entrada en vigor, para evitar una fragmentación de soluciones incompatibles entre fabricantes.

10.2 ESCALABILIDAD.

El segundo gran reto de futuro es la capacidad del V2L y de las soluciones asociadas descritas (baterías estacionarias, fotovoltaica, gestión de flota), para escalar desde los proyectos piloto actuales hasta una adopción amplia en el conjunto del parque de vehículos eléctricos asturiano.

Desde el punto de vista técnico, la escalabilidad del V2L está condicionada por la disponibilidad de vehículos con la función incorporada de fábrica, una tendencia ya descrita en informes de FAEN como claramente favorable en 2026, y por la capacidad del propio sistema de gestión de batería (BMS) de cada vehículo para tolerar un número creciente de usuarios que empleen la función de forma habitual sin que ello se traduzca en un incremento significativo de las tasas de sustitución de batería a nivel de flota regional, un aspecto que debería monitorizarse a medida que la adopción crezca, mediante los indicadores de seguimiento.

Los tres escenarios económicos desarrollados en este informe muestran una escalabilidad económica favorable: el balance neto se mantiene positivo al pasar del hogar individual a la flota y al escenario industrial, lo que sugiere que no existe una barrera económica estructural al crecimiento del uso de V2L en Asturias. No obstante, la escalabilidad de los escenarios de mayor valor (flota e industria) depende de la disponibilidad de financiación para la inversión inicial en baterías estacionarias e instalaciones fotovoltaicas asociadas, un aspecto en el que los programas de ayuda autonómica y los fondos europeos pueden desempeñar un papel de aceleración relevante.

A diferencia de V2H y V2G, el V2L no exige, por su propia naturaleza de uso desconectado del cuadro eléctrico de la vivienda, ningún refuerzo de la red de distribución para escalar su adopción, lo que constituye una ventaja comparativa relevante de cara a su despliegue masivo en Asturias frente a las modalidades de carga bidireccional más avanzadas, cuya escalabilidad sí está condicionada por el desarrollo de la red.

10.3 ACEPTACIÓN.

El tercer reto de futuro, con una naturaleza más cualitativa que los dos anteriores, es la aceptación social y la confianza del usuario final asturiano hacia la tecnología V2L.

- Temor a la degradación de la batería, ya matizado en el apartado económico de este informe, pero todavía presente en la percepción popular por la influencia de experiencias tempranas poco representativas de la tecnología actual.
- Desconocimiento de la función V2L entre una parte significativa de los propietarios de vehículos eléctricos, que en ocasiones ni siquiera son conscientes de que su vehículo la incorpora de fábrica, lo que limita su adopción efectiva pese a la disponibilidad técnica creciente descrita en informes anteriores.
- Confusión conceptual entre V2L, V2H y V2G, que genera expectativas desajustadas sobre el alcance real de cada tecnología, como se ha detallado en el informe específico.
- Percepción de complejidad de uso, especialmente entre usuarios de menor familiaridad tecnológica, pese a que el V2L es, de las tres modalidades de carga bidireccional, la de manejo más sencillo e inmediato.

Frente a estas barreras, varios factores juegan a favor de una aceptación creciente de la tecnología en los próximos años: la experiencia positiva de episodios recientes de corte de suministro en España, en los que el V2L ha demostrado de forma práctica y visible su utilidad para mantener operativos equipos esenciales del hogar, ha tenido un efecto divulgativo

relevante sobre la percepción pública de la tecnología; la extensión del V2L como función de serie en un número creciente de modelos de precio medio reduce la barrera de acceso y familiariza a un público más amplio con su existencia; y la comunicación activa por parte de fabricantes, que presentan cada vez con mayor claridad el V2L como un argumento de venta y no como una función residual, contribuye a normalizar su uso entre el conjunto de propietarios de vehículo eléctrico.

11. CONCLUSIÓN.

El vehículo eléctrico ya no puede entenderse únicamente como un medio de transporte, el presente informe a demostrado que se puede convertir en un recurso energético distribuido con capacidad real de aportar valor a la red eléctrica, siempre que se den las condiciones tecnológicas y de gestión adecuadas. No todas las tecnologías de electrificación son equivalentes en este sentido: solo los BEV y en menor medida los PHEV, tienen capacidad efectiva de participar en esta función, los HEV y FCEV quedan al margen de la interacción bidireccional con la red, cada uno por razones estructurales distintas.

En cuanto al V2L en concreto, se concluye que la tecnología está técnicamente resuelta pero comercialmente fragmentada, su disponibilidad depende más de decisiones de fabricante que de madurez tecnológica, lo que limita a día de hoy su despliegue real independientemente de la demanda o el interés que puede existir por ella.

Sobre la integración en la red, la conclusión central es que la carga masiva del vehículo eléctrico deja de ser un riesgo de saturación cuando se gestiona activamente, la combinación de smart charging, agregación de energía y el nuevo marco regulatorio RD 88/2026 transforma ese riesgo en una fuente de flexibilidad con valor económico. Los datos por escenarios confirman además que ese valor no es fijo, sino que crece cuanto mayor es la coordinación entre recarga y generación renovable local, lo que apunta a que la política energética debería incentivar precisamente esa coordinación y no solo la electrificación en sí.

En las aplicaciones más avanzadas como PLC[38] o el modo isla, se concluye que existe un potencial de alto valor social, especialmente para el medio rural asturiano que está más expuesto a cortes de suministro, pero que ese potencial está todavía condicionado por requisitos de seguridad técnicas no resueltos de forma generalizada, no por falta de utilidad de la tecnología.

[38] Power Line Communication

12. BIBLIOGRAFÍA.

- Almeida Neves, S., Cardoso Marques, A., & Fuinhas, J. A. (2019). Technological progress and other factors behind the adoption of electric vehicles: Empirical evidence for EU countries. Research in Transportation Economics, 74, 28–39. https://doi.org/10.1016/j.retrec.2018.12.001

- España. Real Decreto 88/2026, de 11 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento general de suministro, comercialización y agregación de energía eléctrica. *Boletín Oficial del Estado*, núm. 37, de 12 de febrero de 2026 (BOE-A-2026-3212).

- Red Eléctrica de España. (s. f.). *Procedimiento de operación P.O. 3.8: Establecimiento de la reserva para la regulación frecuencia-potencia*. REE.

- Red Eléctrica de España. (s. f.). *Procedimiento de operación P.O. 9.2: Intercambios de información entre Red Eléctrica de España y los sujetos del mercado de producción de energía eléctrica*. REE.

- Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. (s. f.). *CNMC*. https://www.cnmc.es

- Kempton, W., & Tomić, J. (2005). Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue. *Journal of Power Sources*, *144*(1), 268–279. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2004.12.025

- Kempton, W., & Tomić, J. (2005). Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy. *Journal of Power Sources*, *144*(1), 280–294. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2004.12.022

- Kempton, W., & Letendre, S. E. (1997). Electric vehicles as a new power source for electric utilities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *2*(3), 157–175. https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00001-1

- Jian, L., Zhu, X., Shao, Z., Niu, S., & Chan, C. C. (2014). A scenario of vehicle-to-grid implementation and its double-layer optimal charging strategy for minimizing load variance within regional smart grids. *Energy Conversion and Management*, *78*, 508–517. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.11.007

- Peças Lopes, J. A., Rocha Almeida, P. M., & Soares, F. J. (2009). Using vehicle-to-grid to maximize the integration of intermittent renewable energy resources in islanded electric grids. En *2009 International Conference on Clean Electrical Power* (pp. 290–295). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICCEP.2009.5212041

- Pillai, J. R., & Bak-Jensen, B. (2010). Vehicle-to-grid for islanded power system operation in Bornholm. En *IEEE PES General Meeting* (pp. 1–8). IEEE. https://doi.org/10.1109/PES.2010.5589729

- Tian, S., Razeghi, G., & Samuelsen, S. (2024). Assessment of vehicle-to-load in support of home appliances. *Journal of Energy Storage*, *104*, Artículo 114406. https://doi.org/10.1016/j.est.2024.114406

- Rehman, M. A., Numan, M., Tahir, H., Rahman, U., Khan, M. W., & Iftikhar, M. Z. (2023). A comprehensive overview of vehicle to everything (V2X) technology for sustainable EV adoption. *Journal of Energy Storage*, *74*, Artículo 109304. https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109304

- Haines, G., McGordon, A., Jennings, P. A., & Butcher, N. (2009). The simulation of vehicle-to-home systems – using electric vehicle battery storage to smooth domestic electricity demand. En *Proceedings of the International Conference on Ecologic Vehicles and Renewable Energies*.

- Preis, V., & Biedenbach, F. (2023). Assessing the incorporation of battery degradation in vehicle-to-grid optimization models. *Energy Informatics*, *6*(Supl. 1), 1–22. https://doi.org/10.1186/s42162-023-00288-x

- Jafari, M., Gauchia, A., Zhao, S., Zhang, K., & Gauchia, L. (2018). Electric vehicle battery cycle aging evaluation in real-world daily driving and vehicle-to-grid services. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, *4*(1), 122–134. https://doi.org/10.1109/TTE.2017.2764320

- Naseri, F., Gil, S., Barbu, C., Cetkin, E., Yarimca, G., Jensen, A., Larsen, P., & Gomes, C. (2023). Digital twin of electric vehicle battery systems: Comprehensive review of the use cases, requirements, and platforms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *179*, Artículo 113280. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113280

- Han, J., Zhou, X., Lu, S., & Zhao, P. (2020). A three-phase bidirectional grid-connected AC/DC converter for V2G applications. *Journal of Control Science and Engineering*, *2020*, Artículo 8844073. https://doi.org/10.1155/2020/8844073

- Chung, H. S. H., Chow, W. C., Hui, S. Y. R., & Lee, S. T. S. (2000). Development of a switched-capacitor DC-DC converter with bidirectional power flow. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, *47*(9), 1383–1389. https://doi.org/10.1109/81.883334

- Sommer, C., & Hossain, M. (2025). Artificial intelligence-driven optimization of V2G and charging point selection en-route: A systematic literature review. *Energy Conversion and Management: X*, *26*, Artículo 100978. https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.100978