



PERSPECTIVAS
DE INNOVACIÓN
**CARGA
INTELIGENTE
PARA
VEHÍCULOS
ELÉCTRICOS**

Respaldo por:



Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety

Basado en una decisión de la German Bundestag

Copyright © IRENA 2019

A menos que se especifique lo contrario, el material de esta publicación puede usarse, compartirse, copiarse, reproducirse, imprimirse o almacenarse libremente, siempre que se reconozca adecuadamente a IRENA como fuente y titular de los derechos de autor. El material contenido en esta publicación que se atribuye a terceros puede estar sujeto a condiciones de uso y restricciones independientes, y deberán obtenerse los permisos adecuados de dichos terceros antes de hacer cualquier uso de ese material.

ISBN 978-92-9260-355-7

Citation: IRENA (2019), *Perspectivas de innovación: Carga inteligente para vehículos eléctricos*, Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dabi.

Este documento es la traducción de “*Innovation outlook: Smart charging for electric vehicles*” ISBN: 978-92-9260-124-9 (2019). En caso de discrepancia entre esta traducción y el original en inglés, prevalecerá el texto inglés.

Acerca de IRENA

La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, por sus siglas en inglés) es una organización intergubernamental que apoya a los países en su transición hacia un futuro energético sostenible y actúa como la principal plataforma de cooperación internacional, centro de excelencia y repositorio de conocimiento sobre políticas, tecnologías, recursos y conocimientos financieros de las energías renovables. IRENA promueve la adopción generalizada y el uso sostenible de todas las formas de energía renovable, entre ellas la bioenergía y las energías geotérmica, hidráulica, oceánica, solar y eólica para lograr el desarrollo sostenible, el acceso a la energía, la seguridad energética y la prosperidad y el crecimiento económicos bajos en carbono. www.irena.org

Agradecimientos

El informe se ha beneficiado en gran medida con las contribuciones y revisiones de los siguientes expertos: Peter Bach Andersen (Universidad Técnica de Dinamarca), Petar Georgiev (Eurelectric), Gregory Poilasne (Nuvve), Johannes Henkel (50Hertz), Matteo Muratori (NREL), Christelle Verstraaten y David Colt (ChargePoint), Naotaka Shibata (TEPCO), Yasuo Matsunaga (Nissan), Tomoko Blech (CHAdEMO Association), Carlo Mol (VITO), Paolo Santi (MIT), Lysander Weiss (Venture Idea GmbH), Nikola Medimorec (SLoCaT), Alberto Piglia y Chiara dalla Chiesa (Enel), Hugo Pereira (EV Box), Patrick Wittenberg (Innogy), Lisa Wolf (ex Eurelectric), Yue Xiang (Universidad de Sichuan, China), Xuewen Geng (State Grid EV Service Company), Mathias Wiecher (E.ON), Bastian Pfarrherr (Stromnetz Hamburg), Severine Allano y Francois Grossmann (Tractebel), Tomas Jil (ex IRENA), Dolf Gielen, Alessandra Salgado, Bowen Hong, Emanuele Taibi, Carlos Fernández, Nicholas Wagner, Laura Gutierrez y Paul Komor (IRENA).

Colaboradores del informe: Arina Anisie y Francisco Boshell (IRENA) con Pavla Mandatova, Mireia Martinez, Vincenzo Giordano y Peter Verwee (Tractebel).

El Ministerio Federal Alemán de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU), a través de la Iniciativa Internacional sobre el Clima (IKI), contribuyó generosamente a la preparación de este informe. Se puede encontrar más información sobre la IKI en el sitio web: www.international-climate-initiative.com/en.

Para obtener más información o proporcionar comentarios, comunicarse con IRENA a: publications@irena.org

El informe está disponible para su descarga en: www.irena.org/Publications

Exención de responsabilidad

Las opiniones expresadas en el presente informe son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente la opinión del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Conservación de la Naturaleza y Seguridad Nuclear de Alemania.

Esta publicación y el material que figura en ella se presentan en el estado en que se encuentran. IRENA ha tomado todas las precauciones razonables para verificar la fiabilidad del material presentado en esta publicación. Sin embargo, ni IRENA ni ninguno de sus funcionarios, agentes, proveedores de datos u otros contenidos de terceros ofrecen ninguna garantía, ya sea explícita o implícita, ni aceptan responsabilidad u obligación alguna por consecuencias derivadas del uso de la publicación o el material que contiene.

La información aquí contenida no representa necesariamente los puntos de vista de los miembros de IRENA. La mención de empresas específicas o ciertos proyectos o productos no significa que IRENA los respalde o recomiende con preferencia sobre otros de naturaleza similar que no estén mencionados. Las denominaciones empleadas y la presentación de material en la presente publicación no implican la expresión de ninguna opinión por parte de IRENA sobre la condición jurídica de ninguna región, país, territorio, ciudad o zona, ni de sus autoridades, ni en relación con la delimitación de sus fronteras o límites.

Las fotografías son de Shutterstock salvo que se indique lo contrario.

Así como el transporte futuro debe ser cada vez más electrificado, los sistemas eléctricos futuros deben usar al máximo fuentes de energías renovables variables. La carga inteligente reduce al mínimo el impacto de la carga de los vehículos eléctricos y brinda la flexibilidad para usar más energía solar y eólica.

CONTENIDO

FIGURAS.....	iii
TABLAS.....	v
RECUADROS.....	vi
ABREVIATURAS.....	vii
PANORAMA GENERAL PARA LOS ENCARGADOS DE FORMULAR POLÍTICAS	1
1 INTRODUCCIÓN.....	14
2 ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	15
2.1 Evolución del mercado de los VE	15
2.2 Incentivos políticos para los vehículos eléctricos y apoyo a la infraestructura de carga	17
2.3 Participación de la energía renovable en el parque eléctrico en los mercados de movilidad eléctrica.....	21
2.4 Potencial de flexibilidad de los VE	26
· VE que ofrecen flexibilidad al sistema eléctrico en la actualidad.....	26
· VE que ofrecen flexibilidad al sistema eléctrico para 2030	28
· VE que ofrecen flexibilidad al sistema eléctrico para 2050	28
3 PERSPECTIVA DE LA CARGA INTELIGENTE.....	32
3.1 Impacto de la carga de VE	32
· Impacto sobre la capacidad y la demanda de electricidad	32
· Impacto en la infraestructura de la red	32
3.2 Carga inteligente	35
· Rol de la carga inteligente	35
· Tipos de carga inteligente y su implementación.....	38
· Proyectos de carga inteligente actuales.....	40
3.3 Infraestructura de carga.....	47
· Infraestructura de carga actual	47
· Perspectiva de la infraestructura de carga inteligente	47
· Perspectiva de la infraestructura de carga: Hacia una potencia de carga mayor.....	48
· Alternativas a la carga con cable	54
3.4 Facilitadores de la carga inteligente.....	57
· Comportamiento del consumidor	57
· Big data e inteligencia artificial	58
· Tecnología blockchain.....	59

4	MODELOS DE NEGOCIOS Y PERSPECTIVAS REGLAMENTARIAS	61
4.1	Actores del mercado de la movilidad eléctrica	61
4.2	Modelos de negocio nexo VE-red.....	61
	· Proveedor y agregador de servicios de energía inteligente.....	63
	· Aplicaciones de almacenamiento de segunda vida.....	64
4.3	Regulación para integración vehículo-red (VGI) Mercados de electricidad.....	67
	· Diseño de mercado y regulación para la integración red a vehículo	67
	· Planes de fijación dinámica de precios que incentivan la carga inteligente y las sinergias con las ERV	68
	· Estandarización.....	69
5	PERSPECTIVAS DE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA	72
5.1	Costo y competitividad de los VE	72
	· Comparación del costo total de propiedad.....	72
	· Evolución de las políticas relacionadas con los vehículos	73
5.2	Perspectivas para las baterías.....	74
5.3	Movilidad eléctrica compartida: Movilidad como servicio.....	75
5.4	VE autónomos.....	77
	· Evolución del ADN de los vehículos: Hacia los vehículos autónomos	77
	· Hacer frente a los desafíos y las preocupaciones en materia de reglamentación de la conducción totalmente autónoma.....	79
6	IMPACTO DE LA CARGA INTELIGENTE EN EL SISTEMA DE ENERGÍA GLOBAL.....	81
6.1	Impacto en el sistema.....	82
	· Impacto a corto plazo en el funcionamiento del sistema.....	83
	· Impacto a largo plazo en la expansión del sistema.....	85
	· Resultados de otros estudios similares	89
6.2	Impacto en la red de distribución local.....	90
	· Impacto a corto plazo en la operación de la red de distribución local.....	90
	· Impacto a largo plazo en la expansión de la red de distribución	93
7	CONCLUSIÓN - LISTA DE VERIFICACIÓN DE POLÍTICAS.....	95
	REFERENCIAS	100
	ANEXO 1: INCENTIVOS PARA DESPLEGAR VE E INFRAESTRUCTURA DE CARGA.....	108
	ANEXO 2: ESTADO DE LAS TECNOLOGÍAS DE BATERÍAS PARA VE Y LAS ESTACIONES DE CARGA.....	110
	ANEXO 3: MODELOS DE NEGOCIOS PARA PRESTADORES DE SERVICIOS DE CARGA DE VE	114
	ANEXO 4: DESARROLLOS ESPERADOS EN TECNOLOGÍA DE VE.....	115
	ANEXO 5: METODOLOGÍA DE MODELADO.....	119

Figuras

Figura S1: Crecimiento del despliegue de VE entre 2010 y 2050 en un escenario alineado con el Acuerdo de París.....	2
Figura S2: Formas avanzadas de carga inteligente.....	3
Figura S3: La carga inteligente permite a los VE proporcionar flexibilidad.....	3
Figura S4: Gama potencial de servicios de flexibilidad por VE	4
Figura S5: Impacto a corto plazo de la carga de VE	6
Figura S6: Impacto a largo plazo de la carga de VE.....	7
Figura S7: Impacto de la carga inteligente de VE sobre la red eléctrica	8
Figura S8: Evolución de la flexibilidad de los VE y la integración de las energías renovables para 2030 y 2050.....	10
Figura S9: Lista de verificación de políticas.....	13
Figura 1: Evolución de las ventas de vehículos eléctricos en la categoría de vehículos ligeros en determinados países, de 2012 a 2017 (gráficos que incluyen y excluyen a China y los Estados Unidos).....	15
Figura 2: Evolución de la penetración de los VE en las ventas de vehículos ligeros	16
Figura 3: Emisiones de dióxido de carbono de los VE.....	22
Figura 4: Demanda de electricidad, producción de electricidad renovable y demanda de energía de VE en países seleccionados en 2016.....	23
Figura 5: Indicadores de penetración de la movilidad eléctrica limpia en países seleccionados en 2016.....	23
Figura 6: Penetración de VE en flotas de vehículos ligeros comparada con la cuota de energía solar y eólica en la generación de electricidad en países seleccionados en 2016.....	24
Figura 7: Penetración de VE en flotas de vehículos ligeros comparada con la cuota de energía eólica en la generación de electricidad en países seleccionados en 2016.....	25
Figura 8: Penetración de VE en flotas de vehículos ligeros comparada con la cuota de energía solar en la generación de electricidad en países seleccionados en 2016.....	25
Figura 9: Factores que determinan la cantidad de flexibilidad disponible en un único VE.....	26
Figura 10: Evolución de la flexibilidad de los VE para la integración de las energías renovables para 2030 y 2050.....	29
Figura 11: Perspectiva ilustrativa de la flexibilidad disponible de un único vehículo eléctrico ligero en contexto urbano	30
Figura 12: Posible gama de servicios de flexibilidad por VE	35
Figura 13: Formas de carga inteligente.....	38
Figura 14: Ejemplo de provisión de servicios de red unidireccionales (V1G) y bidireccionales (V2G).....	39
Figura 15: Ejemplo de carga por tiempo de uso	42

Figura 16: Efecto de la batería del VE usada como respaldo para la red.....	44
Figura 17: Efecto de la amortiguación de picos.....	44
Figura 18: Ejemplos de tipos de ciudad.....	51
Figura 19: Carga inductiva.....	55
Figura 20: Funcionamiento de SMATCH.....	59
Figura 21: Resumen del posicionamiento de actores estratégicos en la cadena de valor de la movilidad eléctrica.....	62
Figura 22: Proyecto de BMW y PG&E: Desempeño del vehículo según meta (100 kW).....	66
Figura 23: Posibles flujos de ingresos de VE que pueden ser acumulados.....	67
Figura 24: Panorama de las principales normas internacionales relacionadas con la movilidad eléctrica.....	69
Figura 25: Resumen de los protocolos de comunicación en la movilidad eléctrica.....	70
Figura 26: Perspectivas ilustrativas del costo total de propiedad (TCO) de la electricidad y los automóviles con motor diésel hasta 2050.....	73
Figura 27: Perspectivas de las tecnologías de las baterías en comparación con su madurez actual.....	75
Figura 28: Cadena de valor simplificada de la movilidad como servicio.....	76
Figura 29: Fechas de lanzamiento esperadas de vehículos autónomos.....	78
Figura 30: Aspectos del análisis.....	81
Figura 31: Impacto a corto plazo de la carga de VE en los indicadores clave de rendimiento seleccionados.....	84
Figura 32: Perfiles de carga de VE relacionados con la disponibilidad de energía solar y eólica.....	86
Figura 33: Perfiles de producción eólica regional en un país con alto potencial eólico.....	87
Figura 34: Participaciones de energías renovables en sistemas basados en energía eólica y solar en diferentes escenarios de carga (impacto a largo plazo)*.....	88
Figura 35: Impacto a largo plazo de la carga de VE.....	89
Figura 36: Ejemplos de estudios que evalúan el impacto de las estrategias de carga de VE.....	91
Figura 37: Perfil de potencia con carga inteligente.....	92
Figura 38: Perfil de tensión para la carga inteligente y convencional al mediodía.....	92
Figura 39: Lista de verificación de políticas.....	99
Figura 40: Costo total de propiedad (TCO) presente y futuro para accionamiento por electricidad y diésel.....	115
Figura 41: Escenarios para comparación de costo total de propiedad (TCO) simplificado (vehículos eléctricos versus vehículos diésel).....	116
Figura 42: Metodología de modelado.....	119
Figura 43: VE y uso de la red cuando no hay innovación en movilidad como servicio.....	120
Figura 44: VE y uso de red en escenario de movilidad como servicio.....	120

Tablas

Tabla S1: Impacto de la carga según el tipo.....	5
Tabla S2: Necesidades cambiantes según el tipo de ciudad.....	12
Tabla 1: Penetración en el mercado de las ventas de autobuses y camiones eléctricos en 2016.....	17
Tabla 2: Objetivos y proyecciones gubernamentales clave para la movilidad eléctrica.....	19
Tabla 3: Impacto de la evolución de la movilidad sobre los parámetros de flexibilidad en 2030 y 2050.....	30
Tabla 4: Comparación de estación de carga en autopista con estación de combustible clásica.....	34
Tabla 5: Comparación de baterías para movilidad con otras baterías.....	37
Tabla 6: Tipos de carga inteligente.....	40
Tabla 7: Resumen de despliegue de la carga inteligente y de proyectos piloto.....	41
Tabla 8: Visión general de los principales proyectos de infraestructura de carga ultrarrápida de los fabricantes de equipos originales y las empresas de servicios públicos.....	48
Tabla 9: Autonomías de los vehículos ligeros y necesidades de desarrollo de potencia de carga rápida para 2030-2050.....	50
Tabla 10: Necesidades cambiantes según el tipo de ciudad.....	51
Tabla 11: Pros y contras de la carga inalámbrica (inductiva).....	55
Tabla 12: Resumen de las soluciones de carga para automóviles y vehículos de servicio pesado.....	56
Tabla 13: Pros y contras de la carga inalámbrica (inductiva).....	57
Tabla 14: Pros y contras del almacenamiento en baterías de segunda vida.....	65
Tabla 15: Ejemplos de productos de almacenamiento secundario y demostraciones de parte de fabricantes de automóviles.....	65
Tabla 16: Definición de escenarios a nivel de innovaciones.....	83
Tabla 17: Costo de inversión de las tecnologías de generación usadas en el modelo.....	85
Tabla 18: Expansión de la capacidad (MW) en el caso solar en 2030.....	88
Tabla 19: Refuerzo de la red de distribución en escenarios de carga «no inteligente» versus «inteligentes».....	94
Tabla 20: Modos de carga en detalle y tipos correspondientes de enchufes conectores.....	111
Tabla 21: Resumen de las soluciones de carga para automóviles y vehículos de servicio pesado (en general autobuses).....	113
Tabla 22: Comparación entre los principales componentes químicos de las baterías de ion de litio.....	117

Tabla 23: Comparación entre tecnologías de baterías de ion de litio LFP y NMC	118
Tabla 24: Comparación de automóviles eléctricos seleccionados por tipo y capacidad de batería, autonomía y tiempo de carga	118
Tabla 25: Implicaciones de la innovación en la movilidad como servicio.....	120
Tabla 26: Implicaciones de la innovación en carga totalmente inteligente (V2G).....	121
Tabla 27: Supuestos relacionados con VE (CEEME, 2017).....	121
Tabla 28: Lista de datos de entrada y fuentes requeridas para el modelado.....	123
Tabla 29: Capacidades de generación instaladas en escenarios BAU a largo plazo para ambos sistemas	123
Tabla 30: Ejemplos de estudios que evalúan el impacto de las estrategias de carga de VE	124

Recuadros

Recuadro 1: Flota E de DHAL.....	17
Recuadro 2: Incentivos para infraestructura de carga: estudios de casos	20
Recuadro 3: Campaña de VE de Clean Energy Ministerial	21
Recuadro 4: Impacto de la carga de VE en la red de distribución de Hamburgo.....	34
Recuadro 5: Piloto de integración a la red de vehículos de San Diego Gas & Electric.....	43
Recuadro 6: Nuvve, el pionero del vehículo a la red	43
Recuadro 7: Ejemplos de proyectos de vehículo a red	45
Recuadro 8: Carga inteligente en sistemas de islas.....	46
Recuadro 9: Esfuerzos del consorcio	49
Recuadro 10: Gogoro	57
Recuadro 11: TenneT y Vandebron prueban la blockchain IBM para el cobro inteligente.....	60
Recuadro 12: Proveedores futuros de plataformas de servicios de energía estrategias de Enel y Nissan	64
Recuadro 13: Proyecto Chargeforward para almacenamiento en baterías de segunda vida	66
Recuadro 14: Modelado de EVS en Plexos.....	120

ABREVIATURAS

A	Amperio	EVSS	Esquema de subsidios para vehículos eléctricos
B2B	Empresas para empresas	FV	fotovoltaico
B2C	Empresas al consumidor	G2B	Red a empresas
B2G	Empresas a la red	GPB	Libra esterlina
BAU	Business as usual	GW	Gigavatio
C2C	Cliente al cliente	I&D	Investigación y desarrollo
CA	Corriente alterna	IA	Inteligencia artificial
CAPEX	Gastos de capital	IEC	Comisión Electrotécnica International
CC	Corriente continua	IRENA	Agencia Internacional de Energías Renovables
CCGT	Turbina de gas de ciclo combinado	ISO	Organización Internacional de Normalización
CEM	Clean Energy Ministerial	Km	Kilómetro
CEP	Paquete de energía limpia	kV	Kilovoltio
CO2	Dióxido de carbono	kWh	kilovatio hora
DoD	Profundidad de descarga	kW	Kilovatio
DSO	Operador del sistema de distribución	LCO	Óxido de litio-cobalto
EoL	Fin de la vida útil	LDV	Vehículo ligero
ERS	Sistemas de carreteras eléctricas	LFP	Litio-ferrofosfato
ERV	Energía renovable variable	Li-ion	Ion de litio
EUR	Euro		
EVSE	Equipo de suministro de vehículo eléctrico		

LMO	Óxido de manganeso de litio	Tasa C	Tasa de carga o descarga
LMP	Polímero de litio metálico	TCAC	Tasa de crecimiento anual compuesta
LTO	Óxido de titanato de litio	TCO	Costo total de propiedad
MaaS	Movilidad como servicio	TIC	Tecnología de la información y la comunicación
MCI	Motor de combustión interna	TSO	Operador del sistema de transmisión
MWh	megavatio hora	UE	Unión Europea
MW	megavatio	USD	Dólar estadounidense
NCA	Óxido de litio níquel cobalto aluminio	V1G	Carga unidireccional
NMC	Litio níquel manganeso cobalto	V1X	Vehículo a todo (unidireccional)
OCGT	Turbina de gas de ciclo abierto	V2B	Vehículo a edificio
OCPD	Protocolo de punto de carga abierto	V2G	Vehículo a la red
OEM	Fabricante de equipos originales	V2H	Vehículo al hogar
OPEX	Gastos operativos	V2V	Vehículo a vehículo
PG&E	Pacific Gas and Electric	V2X	Vehículo a todo (bidireccional)
PHEV	Vehículo eléctrico híbrido enchufable	VEB	Vehículo eléctrico a batería
REEV	Vehículo eléctrico con extensor de autonomía	VE	Vehículo eléctrico (enchufable)
SaaS	Software como servicio	VGI	Integración vehículo-red
SCE	Southern California Edison	V	voltio
SDG&E	San Diego Gas and Electric	Wh	Vatio hora
SoC	Estado de carga	ZEBRA	Zeolite Battery Research Africa

La carga inteligente para vehículos eléctricos es la clave para activar sinergias entre el sector del transporte limpio y la electricidad con bajas emisiones de carbono. En efecto, las baterías de los automóviles, podrían ser el medio para integrar altas participaciones de energías renovables en el sistema eléctrico.

PANORAMA GENERAL PARA LOS ENCARGADOS DE FORMULAR POLÍTICAS

El advenimiento de los vehículos eléctricos (VE) promete modificar las reglas de juego del cambio mundial hacia la energía sostenible y en particular hacia la generación de energía renovable. Esto es cierto por varios motivos. En primer lugar, junto con la transformación del sector del transporte, los VE ofrecen una oportunidad viable para introducir una mayor participación de las energías renovables en el parque de generación eléctrico.

La carga de los VE puede crear una demanda significativa de electricidad adicional, que puede satisfacerse de manera práctica y rentable con energías renovables, incluidas la energía solar y la eólica conectadas a la red. Estos desarrollos ofrecen una oportunidad tentadora, en especial a las ciudades, para descarbonizar el transporte al tiempo que reducen la contaminación del aire y sonora, reducen la dependencia de las importaciones de combustible y adoptan nuevos enfoques en términos de movilidad urbana.

Las reducciones constantes de los costos para la generación de energía renovable hacen que la electricidad se transforme en una atractiva fuente de energía de bajo costo para proveer combustible al sector del transporte. La ampliación del despliegue de los VE también representa una oportunidad para el desarrollo del sistema eléctrico, con el potencial de agregar la tan necesaria flexibilidad en los sistemas de electricidad y de respaldar la integración de altas proporciones de energías renovables.

Lo que transforma a los vehículos eléctricos en una innovación única, desde la perspectiva del sistema

eléctrico, es que no fueron desarrollados para el sector eléctrico y no son en principio una solución de flexibilidad para la red, sino que su propósito principal es responder a necesidades de movilidad. Por lo tanto, lograr el mejor uso de los VE requiere un análisis atento de los usos que mejor se adaptarían a ambos sectores. En el mejor de los casos, los VE impulsados con energías renovables pueden generar amplios beneficios para la red sin afectar negativamente el funcionamiento del transporte.

Los automóviles, incluidos los VE, suelen pasar el 95% de su vida útil estacionados. Estos periodos ociosos, combinados con la capacidad de almacenamiento de la batería, podrían transformar a los VE en una solución de flexibilidad atractiva para el sistema eléctrico. Cada VE podría transformarse efectivamente en una unidad de almacenamiento conectada a una microrred con el potencial de brindar una amplia gama de servicios al sistema. Al mismo tiempo, sin embargo, la carga descontrolada podría aumentar la potencia pico en la red, lo que exigiría mejoras a nivel de la distribución.

Las innovaciones emergentes referidas a la carga inteligente para VE no solo abarcan tecnologías, sino también modelos de negocios y marcos regulatorios (IRENA 2019a). Estos serán cruciales para integrar las fuentes de energía renovable al mismo tiempo que se evita la congestión de la red. Además, esta perspectiva de innovación analiza el posible impacto de las alteraciones a la movilidad previstas, incluida la movilidad como servicio y la llegada generalizada de vehículos totalmente autónomos en las próximas dos o tres décadas.

Esta perspectiva de innovación investiga el potencial complementario entre las fuentes de energía renovable variable (ERV) – solar fotovoltaica (FV) y eólica – y los VE. Considera cómo se podría aprovechar este potencial a través de la carga inteligente hasta mitad de siglo.

Aprovechamiento de las sinergias entre los VE y la energía solar y eólica

Según el Centro para la investigación en energía solar e hidrógeno (ZSW) de Alemania, a comienzos de 2019 había 5,6 millones de VE en las carreteras del mundo. China y Estados Unidos eran los mercados más grandes, con 2,6 millones y 1,1 millones de VE, respectivamente. Si la mayoría de los vehículos de pasajeros vendidos a partir de 2040 fueran eléctricos, podría haber más de 1000 millones de VE en las carreteras para 2050 (ver Figura S1). El análisis de IRENA indica que la capacidad de la batería de los futuros VE puede empequeñecer la capacidad de la batería estática. En 2050, habrá alrededor de 14 teravatios hora (TWh) disponibles de baterías de VE para brindar servicios de red, en comparación con los 9 TWh de baterías estáticas (IRENA 2019b).

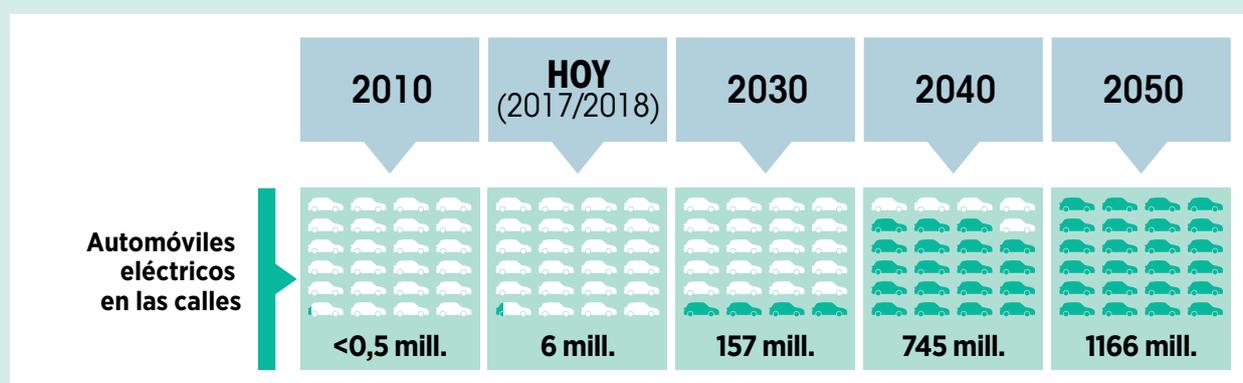
Las flotas de VE pueden crear una amplia capacidad de almacenamiento de electricidad. Sin embargo, los patrones de carga óptimos dependerán del parque de energía preciso. La integración de los VE es diferente en sistemas con altas participaciones de generación solar que en sistemas en los que prevalece la energía eólica. Si comenzara a desplegarse hoy, el uso de los VE como recurso para la flexibilización mediante los métodos de carga inteligentes reduciría la necesidad de invertir en centrales eléctricas, a combustibles fósiles, flexibles pero con alto consumo de carbono, para equilibrar las energías renovables.

La carga inteligente implica adaptar el ciclo de carga de los VE a las condiciones del sistema eléctrico y a las necesidades de los usuarios. Esto facilita la integración de los VE al tiempo que satisface las necesidades de movilidad.

La carga inteligente permite un cierto control sobre el proceso de carga. Incluye diferentes opciones de precios y técnicas para la carga. La forma más simple de incentivo - *precio por tiempo de uso* - alienta a los consumidores a aplazar su carga de los períodos de demanda pico a los de mínima demanda. Será necesario contar con otros enfoques más avanzados de carga inteligente, tal como los mecanismos de control directo, como solución a largo plazo a niveles de mayor penetración y para proveer equilibrio cercano al tiempo real y servicios complementarios. Las formas principales de este tipo de carga incluyen V1G, V2G, V2H y V2B (ver Abreviaturas), tal como se las explica en la Figura S2.

Cada uno de estos enfoques brinda opciones diferentes para aumentar la flexibilidad de los sistemas eléctricos y para respaldar la integración de las ERV, principalmente la eólica y la solar FV. La Figura S3 resume la relación entre los enfoques actuales de carga inteligente y la provisión de flexibilidad en los sistemas eléctricos. Muestra cómo otros enfoques de carga inteligente más avanzados podrían brindar mayor flexibilidad al sistema.

Figura S1: Crecimiento del despliegue de VE entre 2010 y 2050 en un escenario alineado con el Acuerdo de París



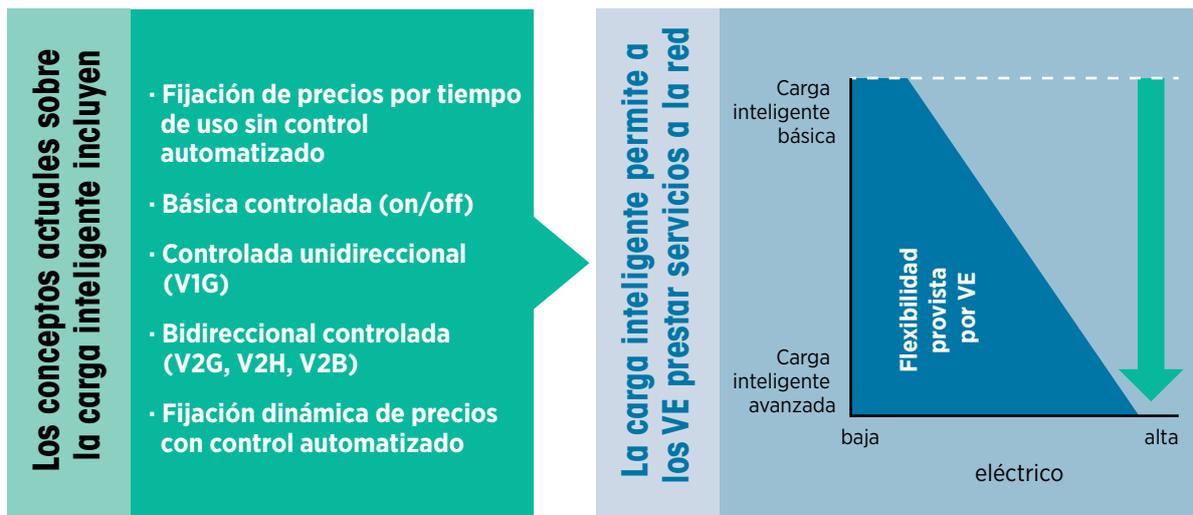
1 www.zsw-bw.de/en/newsroom/news/news-detail/news/detail/News/global-e-car-count-up-from-34-to-56-million.html

Fuente: IRENA, 2019b.

Figura S2: Formas avanzadas de carga inteligente



Figura S3: La carga inteligente permite a los VE proporcionar flexibilidad



Servicios de flexibilidad provistos por carga inteligente de VE

La carga inteligente podría brindar flexibilidad tanto a nivel del sistema como local (ver la Figura S4). A nivel del sistema, la carga inteligente podría facilitar el equilibrio en el mercado mayorista. Con V1G, sería posible controlar los patrones de carga de los VE para aplanar el pico de demanda, llenar los momentos de baja demanda y respaldar el equilibrio en tiempo real de la red mediante el ajuste de sus niveles de carga. Con V2G, al inyectar electricidad de nuevo a la red, los VE también podrían brindar servicios complementarios a operadores del sistema de transmisión. La carga inteligente podría ayudar a los operadores del sistema de transmisión a gestionar la congestión, y podría ayudar a los clientes a manejar su consumo de energía y aumentar sus tasas de autoconsumo de energía renovable.

El proyecto danés Parker es un ejemplo de proyecto V2G que utiliza tecnología de carga inteligente, y se basa en la cooperación entre las industrias automotriz y eléctrica para demostrar la capacidad de los vehículos eléctricos de respaldar y equilibrar los sistemas eléctricos basados en energía renovable. La incorporación a la red de especialistas como Enel, Nuvve e Inero, así como los fabricantes de automóviles Nissan, Mitsubishi y PSA Groupe ha demostrado que los vehículos de última generación de diversas marcas automotrices pueden contribuir a respaldar la red eléctrica, brindando servicios tales como el control de frecuencia y voltaje a través de la tecnología V2G (Bach Andersen, 2019).

Impacto de la carga de VE sobre los sistemas de electricidad en las ciudades

La carga de VE determina los patrones generales de demanda de energía y afecta las mejores elecciones para el desarrollo de la red eléctrica urbana.

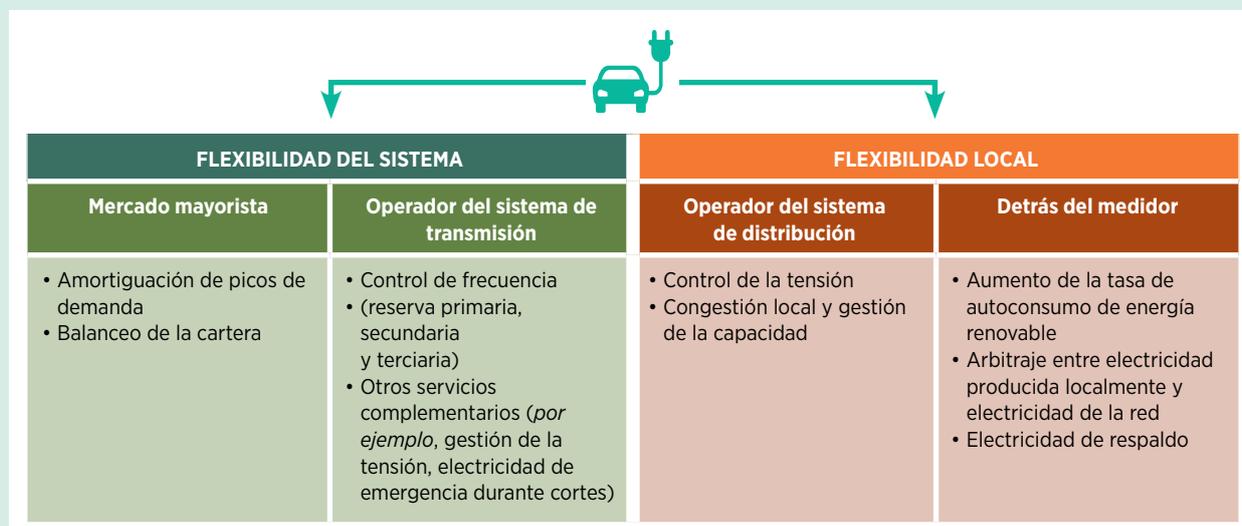
Consumo de energía y pico de demanda

La carga descontrolada de VE solo causa leves aumentos en la producción y consumo de electricidad, tal como muestran varios estudios (Eurelectric, 2015; BoA/ML, 2018a; Schucht, 2017). Sin embargo, el impacto en el pico de demanda puede ser mucho mayor. En un escenario de 10 millones de VE para 2035 en el Reino Unido, el pico de demanda nocturno aumentaría 3 gigavatios (GW) con la carga descontrolada, pero aumentaría tan solo 0,5 GW si la carga fuera inteligente (AER 2018). En la figura S3 pueden verse otros ejemplos de este tipo.

Infraestructura eléctrica

Si para 2030 se sumaran al sistema eléctrico más de 160 millones de VE (IRENA 2018), y se concentraran altas cantidades en ciertas áreas geográficas con sus cargas descontroladas, la red local se vería afectada por congestión. Para evitar esta situación, sería necesario reforzar la red local. Con la carga inteligente, estas inversiones pueden evitarse en gran medida. La carga inteligente tendería a combinarse con carga lenta en redes de distribución de baja tensión. Por ejemplo, el operador del sistema de distribución local en Hamburgo, Alemania

Figura S4: Gama potencial de servicios de flexibilidad por VE



La carga inteligente reduce los costos asociados con el refuerzo de las redes eléctricas locales. A diferencia de la carga descontrolada, disminuye la simultaneidad y reduce los picos de la demanda.

hizo un análisis y llegó a la conclusión de que un 9% de participación de VE causaría cuellos de botella en el 15% de los puntos de suministro en la red de distribución de la ciudad. Para evitar esto, se adoptó una solución de carga inteligente, y el operador del sistema de distribución está instalando ahora unidades de control para supervisar las cargas en los puntos de carga (Pfarrherr, 2018).

Cargadores lentos – por lo general hasta 22 kilovatios (kW) – se usan principalmente para carga en hogares y oficinas. En la carga lenta, la batería del VE está conectada a la red durante periodos más prolongados, lo que aumenta la posibilidad de brindar servicios de flexibilidad al sistema eléctrico.

Cargadores rápidos – por lo general de 50 kW y más – es probable que se usen en sistemas de corriente continua (CC), a menudo en autopistas, aunque algunas ciudades también los están instalando para cargar en la calle (*por ejemplo*, Paris’ Belib).

Cargadores ultra rápidos – más de 150 kW – pronto estarán disponibles, y ayudarán al cliente a superar la ansiedad con respecto a la movilidad eléctrica y serán un complemento crucial para la carga lenta en hogares y oficinas.

Las cargas rápida y ultrarrápida no dejan las baterías conectadas al sistema el tiempo suficiente como para ofrecer flexibilidad. El impacto de la carga rápida en la red deberá mitigarse con la instalación de puntos de carga en áreas con bajo impacto sobre la congestión y el pico de demanda local. Asimismo, la combinación de la infraestructura para carga rápida con ERV instaladas localmente y almacenamiento estático de energía pueden, mediante la amortiguación, aumentar la flexibilidad de la estación de carga frente a la red. El intercambio de baterías puede cobrar mayor importancia, al menos para aplicaciones seleccionadas (*por ejemplo*, autobuses) o en ciertos lugares del mundo (*por ejemplo*, China). Efectivamente, el “desacople de la batería de las ruedas” puede ofrecer oportunidades adicionales a la red. La combinación del transporte con las innovaciones en energía renovable también promete reducir el costo de la energía para el usuario.

Impacto de la carga inteligente de los VE sobre la integración de las ERV

En este análisis, se realizó un ejercicio de modelación para estudiar los beneficios de la carga inteligente a nivel del sistema, tanto para la operación del sistema a corto plazo como para su expansión a largo plazo. Los resultados de este ejercicio apuntan a indicar solo la magnitud del beneficio de la carga inteligente en los sistemas eléctricos, y las cifras exactas no deberían considerarse válidas a nivel general. El impacto de la carga inteligente depende de las características de cada sistema eléctrico y de la implementación de la carga inteligente.

La carga inteligente reduce los costos asociados a las cargas rápida y ultrarrápida, que son prioridades para el sector de la movilidad. Sin embargo, la carga lenta se adapta mejor para el enfoque “inteligente” que aumenta la flexibilidad del sistema. Pero las soluciones como el cambio de batería, las estaciones de carga con almacenamiento adicional y la carga nocturna para las flotas de VE pueden ayudar a evitar el estrés del pico de demanda de la carga rápida y ultrarrápida, reforzando las redes de electricidad locales. A diferencia de la carga descontrolada, disminuye la simultaneidad y reduce los picos de la demanda.

Tabla S1: Impacto de la carga según el tipo

	Demanda de electricidad	Pico de demanda	Redes de distribución
Carga lenta, descontrolada	+	++	++
Carga lenta + carga inteligente	+	+	+
Carga rápida	+	++	++
Carga rápida con baterías	+	+	+

Impacto a corto plazo

El análisis de la operación a corto plazo, que evaluó el impacto de las diferentes estrategias de integración vehículo a red en sistemas aislados con alta radiación solar, demostró claramente los beneficios de la carga inteligente en comparación con la carga descontrolada. Tal como se ilustra en la Figura S5, la implementación de la carga inteligente unidireccional (V1G) y la carga inteligente bidireccional (V2G) reduce gradualmente el vertido de ERV a nivel cero. En consecuencia, se reducen en parte las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en el sistema, debido a una mayor participación de la generación solar para cubrir las cargas. Gracias a la distribución de la carga durante el día, el pico de demanda se reduce tanto en V1G como en V2G. El costo promedio de la generación de electricidad puede bajar.

Impacto a largo plazo

El análisis a largo plazo consideró la expansión del sistema con el parque de generación óptimo según los precios mayoristas de la electricidad, y con inversiones en nuevos activos para satisfacer la demanda en 2030. Se estudiaron sistemas solares y eólicos aislados. El análisis reveló una mayor inversión en energías renovables y en consecuencia una mayor producción de energía renovable, en especial para energía solar con V2G,

La carga inteligente brinda mayores beneficios a los sistemas con mayor energía solar FV que eólica, debido al perfil de generación más predecible de la energía solar. Los sistemas con altas participaciones de energía eólica podrían mostrar ya una correlación entre la producción de electricidad y la carga de VE, incluso si ésta es descontrolada.

En general, los perfiles de generación FV solar no coinciden con la carga descontrolada de VE, salvo en la carga en oficinas y en parte también en la carga pública durante el día. De este modo, los beneficios incrementales de la carga inteligente en términos de impacto sobre la capacidad renovable podrían ser altos con energía solar, principalmente con el uso de baterías accesibles que puedan almacenar el exceso de energía renovable que no se consume durante el día, y despachar esta energía más tarde. En el caso del viento, quizás ya exista una alta coincidencia entre la producción de energía eólica y los perfiles de carga de los VE, incluso con la carga descontrolada de VE, ya que la generación de energía eólica puede ocurrir por la noche, que es el momento comúnmente utilizado para cargar los VE. En consecuencia, el pico de demanda anual presenta una disminución similar a la del análisis a corto plazo. El aumento de la energía solar o eólica en el sistema reduce pronunciadamente las emisiones de CO₂. La Figura S6 ilustra los resultados del análisis.

Figura S5: Impacto a corto plazo de la carga de VE

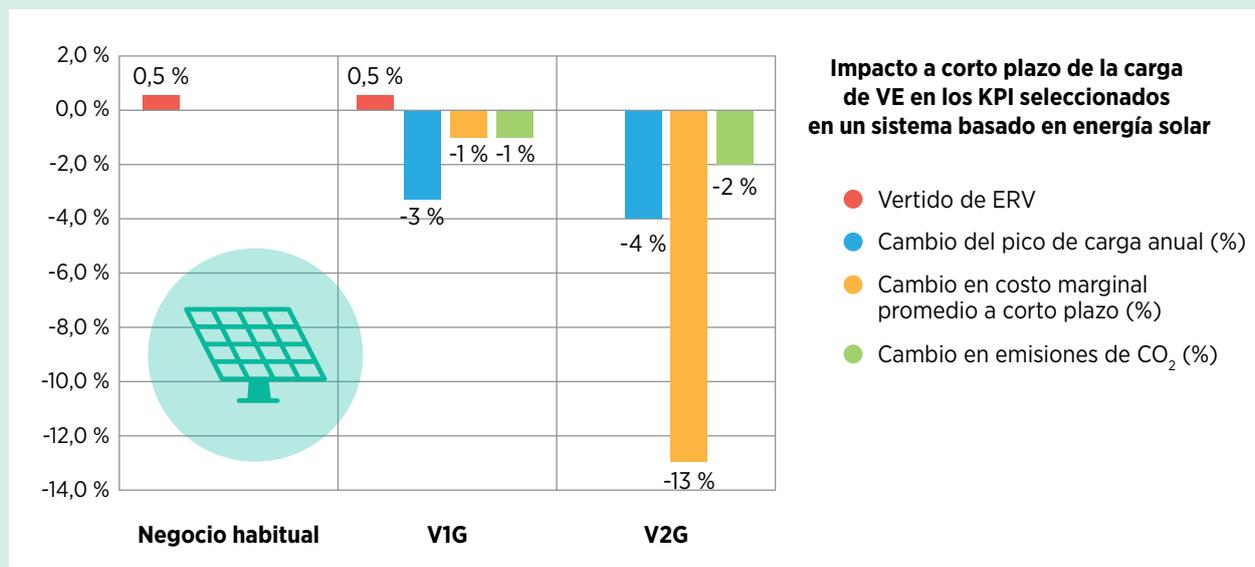
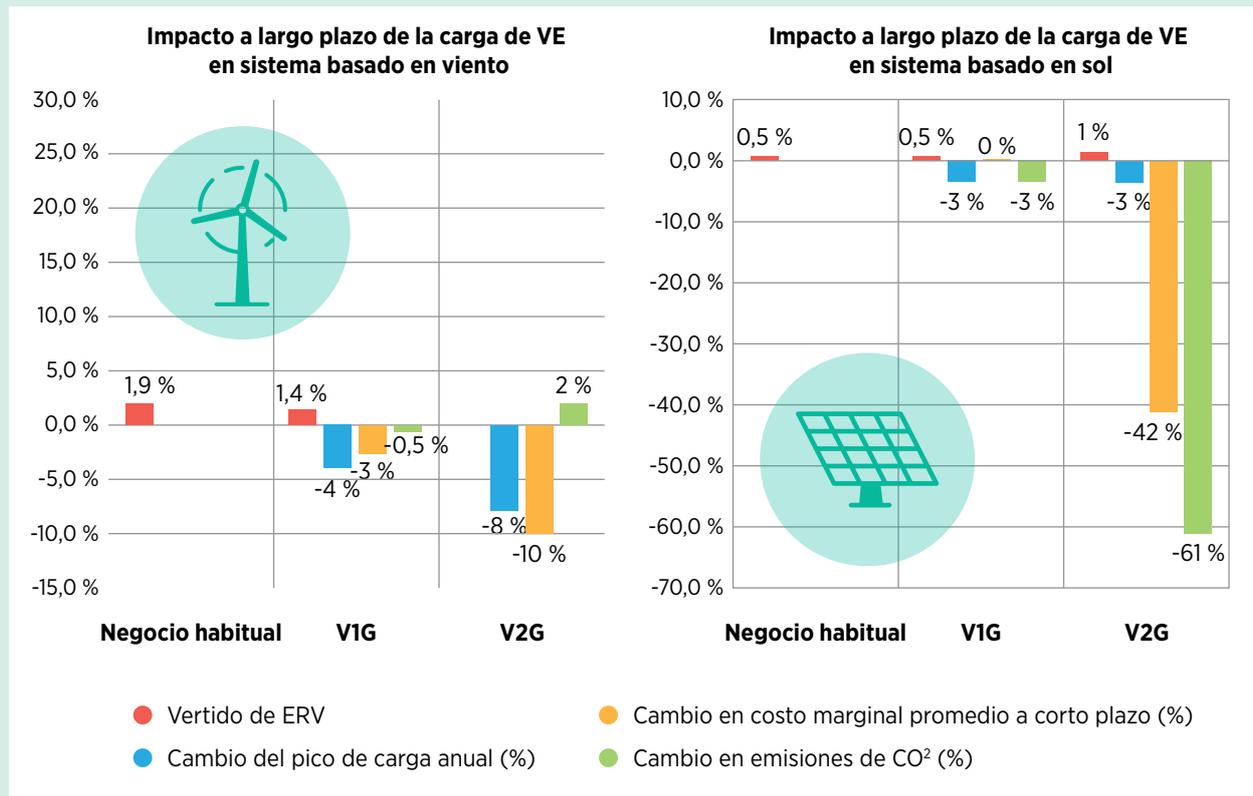


Figura S6: Impacto a largo plazo de la carga de VE

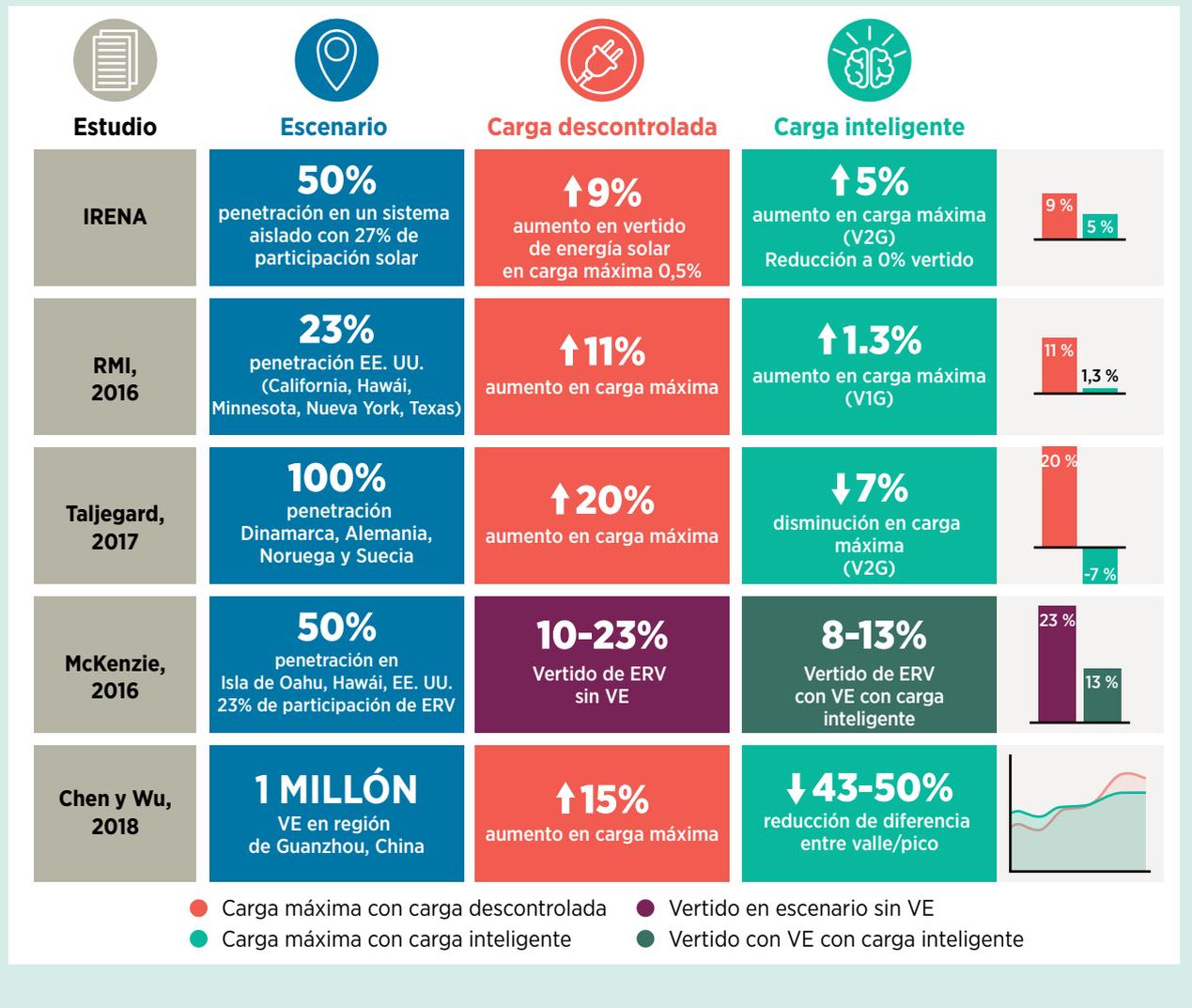


La carga inteligente aplana el pico de carga, reduce el vertido de ERV y permite mayores participaciones de electricidad FV de bajo costo. Esto puede ayudar a desplazar la generación más costosa y a bajar los precios de la electricidad.

La disminución de las emisiones de CO₂ en los casos de carga inteligente está impulsada por la participación creciente de la energía renovable en el sistema, tanto solar como eólica. La disminución del costo marginal a corto plazo también acompaña en gran medida las crecientes participaciones de energías renovables. Se observan altas variaciones en el vertido de ERV cuando se modelan V1G y V2G.

La perspectiva de innovación de IRENA coincide con los resultados de estudios similares que analizan el impacto en la carga inteligente en la integración de ERV. Otros estudios han identificado un impacto beneficioso de la carga inteligente sobre la mitigación del pico de demanda en el sistema y las emisiones de CO₂ relacionadas (Chen and Wu, 2018; RMI, 2016; Taljegard, 2017) y la mitigación del vertido de energías renovables (McKenzie et al., 2016). Esto se resume en la Figura S7.

Figura S7: Impacto de la carga inteligente de VE sobre la red eléctrica



La movilidad como servicio menos compatible con la flexibilidad basada en VE

Las prácticas de compartir el uso de los automóviles ya están cambiando los hábitos de los consumidores. Se espera que el paso de la propiedad del vehículo a la movilidad compartida y la movilidad como servicio (MaaS) continúe progresivamente con la digitalización. Los vehículos totalmente autónomos, cuyo despegue a mayor escala en entornos urbanos está previsto para 2040 aproximadamente, impulsarán aún más esta tendencia. La mayoría de esos vehículos serán eléctricos.

Esta evolución debería destacarse más en las ciudades, que se proyecta que albergarán el 60% de la población mundial para 2030, y el 70-80% para 2050. El alcance de este impacto dependerá del desarrollo económico y la densidad poblacional. Con el tiempo, la proliferación de MaaS

combinada con el manejo autónomo puede disminuir las ventas de vehículos eléctricos de baja densidad en ciudades con alta densidad poblacional (la venta de vehículos de dos ruedas puede verse menos afectada). Al mismo tiempo, aumentará la autonomía de manejo del VE y el transporte fuera de pico seguirá ocurriendo durante la noche.

En consecuencia, la flexibilidad neta disponible en el sistema podría disminuir, en especial durante el día, para equilibrar la energía solar. Las mayores distancias recorridas en automóvil a diario implicarán menos tiempo de estacionamiento, es decir, menos capacidad de batería para los servicios de red. Es necesario estudiar en detalle las implicaciones para la disponibilidad de flexibilidad de los VE, que puede disminuir en un sistema futuro basado en vehículos autónomos compartidos en comparación con un sistema de transporte basado en la propiedad individual de VE. Sin embargo, mientras tanto, la carga inteligente de VE puede ser un factor crucial para aumentar la energía renovable variable.

La MaaS podría funcionar en contra de la integración de las ERV, ya que se conectan menos baterías de VE a la red. Con la alteración principal al sector de la movilidad, los VE podrían no brindar tanta flexibilidad a la red.

Perspectivas de la carga inteligente para 2050

La evolución de la flexibilidad que puede ofrecer un VE a la red a través de la carga inteligente se resume en la Figura S8. Para 2030, la flexibilidad de los VE podría aumentar drásticamente si la aceptación en el mercado se ve facilitada por metas políticas ambiciosas y por la disponibilidad de capacidades de carga inteligente. Entre 2030 y 2050 es posible que aparezcan automóviles con baterías de 200 kilovatios-hora (kWh) y una autonomía de hasta 1000 kilómetros en las carreteras. Sin embargo, la escala de su despliegue dependerá del peso y el costo de estas baterías, ya que la necesidad de estas autonomías seguirá siendo limitada.

La potencia de carga ultrarrápida de 600 kW podría estar disponible eventualmente pero todavía se utilizaría de forma limitada. Para 2050, la movilidad como servicio y los vehículos autónomos alterarán la movilidad y lo más probable es que aplane el aumento de la flexibilidad disponible en el sistema. El tiempo de estacionamiento de los vehículos compartidos puede reducirse y concentrarse principalmente en nodos en los suburbios de las ciudades, lo cual disminuiría la flexibilidad disponible para equilibrar la energía solar.

Prioridades de las políticas

Además de desplegar más energías renovables, los países deben fijar metas ambiciosas para el transporte. Además de las metas de movilidad y las normas para el CO₂ que ya están implementadas en algunos países, podrían tenerse en cuenta los objetivos de reducción de CO₂ para el transporte.

La introducción de incentivos temporales (allí donde aún no estuvieran implementados) para los VE es relevante para poner en marcha el mercado de VE. Con la eliminación paulatina de los incentivos monetarios directos en respuesta a circunstancias y necesidades locales, los incentivos no monetarios deberían tornarse más frecuentes con el tiempo.

Los gobiernos y las autoridades locales en mercados incipientes de VE también deberían diseñar incentivos para la infraestructura de carga inteligente. Por ejemplo, en el Reino Unido, desde julio de 2019, solo los puntos

de carga domésticos que usen tecnología “inteligente” serán elegibles para recibir financiación del gobierno en el marco del Esquema de carga doméstica de vehículos eléctricos (RECC, 2019). Todos los gobiernos deberían abordar segmentos complejos del mercado tales como la carga ultrarrápida y las viviendas multifamiliares.

Prioridades normativas

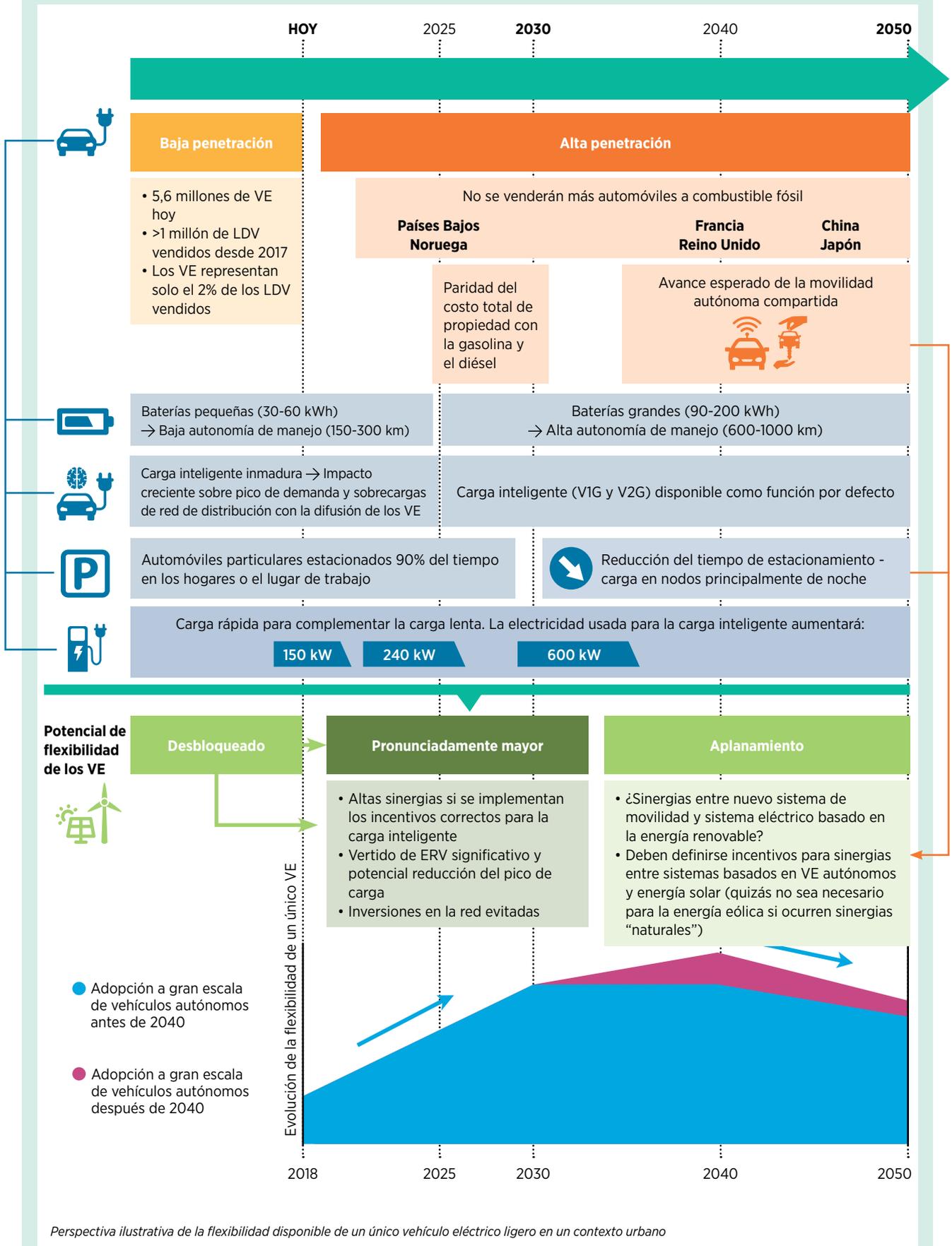
Los aspectos normativos claves necesarios incluyen la implementación, en un principio, de tarifas por tiempo de uso y luego, con el tiempo, precios dinámicos para la carga de VE, permitir la participación de los VE en mercados de servicios auxiliares, habilitar la acumulación de valor y evitar cargos dobles.

En primer lugar, las señales de precios apropiados son un facilitador clave para la implementación de la carga inteligente. Las señales de precios para los usuarios de VE posibilitarían el cambio de la demanda para la carga de VE a periodos de baja demanda y hacer que coincida con la disponibilidad de fuentes de energía renovable. Los clientes no podrán hacer coincidir su carga del VE con la generación de ERV si no reciben las señales de precios correspondientes para hacerlo. El aumento de la automatización permitirá a los conductores y a los prestadores de servicios administrar este sistema. Varios minoristas, principalmente en los Estados Unidos, han adoptado tarifas de carga doméstica de VE, ofreciendo precios de carga hasta un 95% más bajos por la noche en comparación con el día (BNEF, 2017e).

El precio de la electricidad minorista para los usuarios de VE debe reflejar el parque eléctrico real, es decir, precios mayoristas bajos cuando hay disponibles ERV abundantes a un costo marginal cercano a cero, para que carguen los VE en esos momentos en la mayor medida posible. Será necesario tener precios dinámicos y actualizar las tarifas de la red de distribución para indicar a los vehículos los mejores momentos para cargar y descargar (en el caso de V2G). Para que esto suceda, es necesario implementar mercados mayoristas y minoristas que funcionen en todo el mundo, cosa que no es así actualmente, ni siquiera en los 10 mercados de movilidad eléctrica principales. La regulación del precio minorista suele ser una cuestión de gran sensibilidad política.

En segundo lugar, contar con una única fuente de ingresos quizás será insuficiente para que el V2G en

Figura S8: Evolución de la flexibilidad de los VE y la integración de las energías renovables para 2030 y 2050



Los reglamentos deberían permitir que las baterías de los VE ofrezcan diferentes servicios al sistema eléctrico, alentando la acumulación de servicios y ganancias. Pero es necesario evitar las dobles imposiciones por la carga V2G. Los impuestos y los cargos de la red deben aplicarse solo a la energía neta transferida a los fines del manejo.

particular se transforme en un negocio. En otras palabras, las baterías deberán “apilar” los ingresos prestando múltiples servicios, tanto a nivel del sistema como localmente, tal como se muestra en la Figura S4. Para que esto se haga realidad, hay una serie de requisitos previos además del precio dinámico. En muchos lugares, no hay mercados competitivos de equilibrio/servicios complementarios, y los operadores de la red local no tienen permitido gestionar la congestión en sus redes de otra manera que no sea reforzando la red. La totalidad de los VE deberán tener acceso a estos mercados y a varios mercados en paralelo.

Las tasas de conexión excesivas para la carga inteligente de VE pueden desalentar usos que brindan beneficios a todo el sistema. Esto puede ocurrir a través de la doble imposición, tal como la recaudación de tasas de conexión tanto por cargar un vehículo como por inyectar electricidad a la red, y los cargos de red cuando se consume electricidad o se la entrega a la red con tecnología V2G.

Modelos de negocios

Es necesario que los modelos de negocios tengan en cuenta las necesidades del sistema eléctrico (remuneración de la provisión de servicios a los sistemas eléctricos) así como del propietario del vehículo (movilidad y preservación del estado del vehículo y la batería). Por lo tanto, deben controlarse parámetros como la velocidad de carga, el estado de las baterías de los VE, la potencial reducción de la vida útil de las baterías y otros, que deben tenerse en cuenta al momento de determinar el modelo de negocio de la carga inteligente. Por ejemplo, la prestación de servicios operativos requeriría que la batería actuara “a pedido” al tiempo que recibe ingresos estables solo por estar disponible. Por otro lado, el arbitraje del precio de la electricidad requiere carga y descarga repetitivas, que reducen significativamente la vida útil de la batería.

Los modelos de negocios con agregadores facilitan el uso de VE como fuente de flexibilidad. Debe comercializarse una capacidad de al menos 1-2 MW para hacer que la provisión de energía de los VE sea viable a nivel mayorista. Esto requiere sumar alrededor de 500 vehículos y sus puntos de carga.

Las baterías de VE pueden ofrecer la respuesta rápida necesaria para algunos servicios complementarios, pero su capacidad eléctrica es limitada; por lo tanto, un único VE no puede ofrecer estos servicios por el periodo de tiempo que necesita el sistema eléctrico. Sin embargo, cuando se suman los VE, pueden complementarse entre sí, y dar como resultado una planta de energía eléctrica virtual con una respuesta rápida y la capacidad de brindar servicios para el periodo necesario.

Next Kraftwerke, operador de una central eléctrica virtual, y Jedix, agregador y proveedor de plataformas de carga inteligente para vehículos eléctricos (VE), han lanzado un proyecto piloto internacional que usa baterías de VE para suministrar reserva de control secundaria a TenneT, el operador del sistema de transmisión de los Países Bajos. Jedix podrá combinar información sobre las preferencias de los usuarios, datos de automóviles y estaciones de carga para ofrecer un pronóstico continuo de la capacidad disponible. Luego, Next Kraftwerke usa esto en el proceso de licitación de TenneT para la adquisición de servicios de red (NextKraftwerke, 2018).

Prioridades de tecnología

La carga inteligente debe desarrollarse teniendo en mente los aspectos específicos de cada sistema eléctrico. La estrategia de carga inteligente puede diferir según la fuente de ERV que prevalezca en el sistema eléctrico y su perfil de generación.

Los beneficios progresivos de la carga inteligente serán particularmente significativos en los sistemas solares. Al cambiar la carga para que coincida mejor con la generación solar FV, y con la implementación de V2G, podrían integrarse participaciones mayores de energía solar a nivel del sistema y de la red local, lo que mitigaría la necesidad de inversiones en la red de distribución. Para que la carga de los VE complemente la energía solar, la carga debe cambiar al medio día, lo que también significa que las estaciones de carga deben estar ubicadas en los lugares de trabajo y otras instalaciones comerciales en las que los propietarios de los VE estacionen sus vehículos durante el día. Los empleados pueden ser capaces de usar electricidad renovable gratuita para cargar en la oficina (y luego usar

electricidad renovable en su hogar para V2H). Para ello, se deberían promover el precableado y los cargadores inteligentes en los edificios comerciales.

Los perfiles de producción eólica son más específicos de cada región. En algunas regiones, estos perfiles pueden coincidir bien con los perfiles de carga de VE, incluso si los VE se cargan de manera descontrolada, porque quizás el viento sople más por la tarde y la noche cuando los VE suelen estar cargándose. En estos sistemas, el foco debería estar principalmente en la carga doméstica por la noche y en el ajuste dinámico a las variaciones en la producción eólica.

Estas estrategias requerirán ajustes adicionales con el aumento de la movilidad como servicio y el eventual cambio hacia vehículos totalmente autónomos, principalmente en áreas urbanas. Los VE seguirán siendo en principio un medio de transporte y servirán solo de manera secundaria como “baterías para el sistema”. Esto no solo impulsará el desarrollo de

nuevas tecnologías como la carga inalámbrica, sino que también trasladará la carga del hogar/oficina a los nodos de carga. Es necesario estudiar cuidadosamente las implicaciones para la disponibilidad de flexibilidad de los VE, que puede disminuir en un sistema futuro basado en vehículos autónomos compartidos en comparación con un sistema de transporte basado en la propiedad individual de VE.

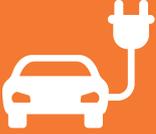
Además, en la actualidad, solo unas pocas estaciones de carga (tanto domésticas como públicas) están habilitadas para la red inteligente (Deloitte, 2017), y muy pocos automóviles admiten V2G. El aumento de la penetración de los vehículos eléctricos intensificará la necesidad de contar con normas comunes para la infraestructura de carga y soluciones interoperables entre las estaciones de carga, las redes de distribución y los VE. La interoperabilidad es clave no solo para evitar el bloqueo del proveedor de la infraestructura de carga, sino también, para permitir la conectividad rentable de los VE con diversas infraestructuras y mediciones de carga.

Los protocolos de comunicación deben estandarizarse, y las estaciones de carga y sistemas de control V2G deben ser interoperables.

Tabla S2: Necesidades cambiantes según el tipo de ciudad

	Automóviles de propietarios particulares	Movilidad compartida	Transporte público	Vehículos de dos ruedas	Tipo de carga predominante
Áreas metropolitanas densas de bajos ingresos			++	++	Carga pública, nodos para autobuses
Expansión de los suburbios de altos ingresos	++	+	+		Carga doméstica
Áreas metropolitanas densas de altos ingresos	+	++			Nodos de carga, más carga rápida

Figura S9: Lista de verificación de políticas

Recomendaciones	Lista de acción	
 <ul style="list-style-type: none"> • Promocionar la energía renovable para descarbonizar el sistema eléctrico • Promocionar los VE para descarbonizar el transporte 	<p>1 Fijar metas ambiciosas</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • Metas para diferentes tipos de transporte  <ul style="list-style-type: none"> • Metas de reducción de CO₂
	<p>2 Respaldar la infraestructura de carga</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • Carga pública, carga rápida, viviendas multifamiliares
	<p>3 Mantener o introducir incentivos temporales para automóviles</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • Ventajas monetarias vs. otras
	<p>4 Desplegar más renovables</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • Objetivos ambiciosos de energía renovable
 <ul style="list-style-type: none"> • Foco en la carga inteligente • Crear incentivos para aprovechar los grandes beneficios incrementales, especialmente del uso solar 	<p>5 Estandarizar y garantizar la interoperabilidad</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • Estándares V2G y la interoperabilidad entre VE y equipos de suministro
	<p>6 Implementar en islas y áreas con grandes participaciones de energía renovable</p>	
	<p>7 Diseñar estrategia de carga inteligente que se adapte al parque de energía</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • La carga en el lugar de trabajo y comercial serán claves para los “sistemas basados en energía solar”  <ul style="list-style-type: none"> • Sinergias potenciales entre la carga doméstica para “sistemas eólicos”, combinados con energía solar doméstica
	<p>8 Elegir ubicaciones óptimas para la carga</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • Sinergias entre movilidad y la red
	<p>9 El diseño de mercado debería permitir la carga inteligente, ajustar reglamentos</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • Incentivos para los clientes
		 <ul style="list-style-type: none"> • Evitar dobles pagos de cargos de red e impuestos  <ul style="list-style-type: none"> • Permitir la acumulación de ingresos de VE en diferentes mercados
<p>10 Complementar la carga de la red con almacenamiento en puntos de carga o cambio de batería</p>		
 <ul style="list-style-type: none"> • Estudiar el impacto de la evolución a largo plazo de la movilidad sobre la carga inteligente 	<p>11 Respaldar la I&D sobre baterías y carga considerando las necesidades de la movilidad y la red</p>	
	<p>12 Implicaciones del estudio de la movilidad como servicio para la flexibilidad de los VE</p>	
	<p>13 Planificación integrada del sector eléctrico y el transporte</p>	 <ul style="list-style-type: none"> • Construir nodos de carga en ubicaciones óptimas

1. INTRODUCCIÓN

Los futuros sistemas eléctricos se basarán cada vez más en energías renovables variables. El porcentaje de sistemas de transporte electrificados aumentará en el futuro. Tendremos un sistema eléctrico y de transporte integrado libre de emisiones, en el cual la energía renovable no solo alimentará las redes sino también los vehículos eléctricos (VE). Los VE representan un cambio de paradigma tanto para el sector del transporte como para el de la electricidad, con el potencial de contribuir a la descarbonización en ambos sectores al unirlos. En especial en un contexto urbano, las ciudades pueden verse beneficiadas con la descarbonización del transporte ya que se reducen en gran medida la contaminación del aire y sonora y las importaciones de combustible, y se ofrecen nuevas opciones de tecnología para replantear la movilidad urbana.

Las reducciones constantes de los costos de la generación eléctrica renovable hacen que la electricidad se transforme en una atractiva fuente de bajo costo para proveer combustible al sector del transporte. Una ampliación significativa del despliegue de los VE también representa una oportunidad para el sistema eléctrico, con el potencial de ofrecer la tan necesaria flexibilidad en un sistema con alta proporción de energías renovables. Los VE son una innovación única ya que, a diferencia de otras opciones de flexibilidad, no han sido desarrollados para servir al sistema eléctrico, sino que provienen de otro sector. Aun así, ofrecen grandes oportunidades al sistema eléctrico. Se necesitan innovaciones en tecnología, modelos de negocios y reglamentaciones para aprovechar las sinergias potenciales entre estos dos sectores.

Esta perspectiva de innovación investiga el grado de potencial de complementación entre las ERV y los VE, y cómo este potencial puede ser aprovechado con la implementación de la carga inteligente para 2030 y 2050.

El informe está organizado de la siguiente manera:

La **Sección 2** resume el estado de situación y brinda una panorámica de los desarrollos actuales en el mercado de los VE así como las sinergias con las energías renovables.

La **Sección 3** presenta la perspectiva para la carga inteligente, y describe los diferentes tipos de carga disponibles en la actualidad así como los proyectos en este campo. Analiza la manera en que puede evolucionar la flexibilidad de los VE tanto en el mediano (2030) como en el largo plazo (2050). También evalúa la adecuación de los diferentes tipos de infraestructura de carga para la carga inteligente, y el uso de la digitalización como facilitador de la carga inteligente.

La **Sección 4** evalúa la cadena de valor del mercado de los VE y sus modelos de negocios. También estudia los desafíos y las mejores prácticas para la integración vehículo-red (VGI).

La **Sección 5** presenta la perspectiva de la movilidad eléctrica. Evalúa la competitividad de los VE en comparación con los vehículos de motor de combustión interna (MCI) en cuanto al costo total de propiedad, y cómo se espera que evolucione. También se describen las tecnologías de baterías y su evolución en el sistema de transporte hacia la movilidad como servicio, y finalmente hacia el uso extendido de vehículos autónomos.

La **Sección 6** discute el impacto de la carga eléctrica sobre el sistema de energía mundial. Presenta los resultados de los modelos realizados para evaluar los impactos de las innovaciones claves esperadas en términos de electromovilidad así como en el nexo entre VE y la red.

La **Sección 7** ofrece una lista de verificación de políticas concluyente que evalúa las consideraciones claves de las perspectivas de innovación así como el modelo cuantitativo. Se obtiene una lista de los pasos claves para los encargados de formular políticas y otros interesados que son necesarios para el despliegue de las innovaciones más prometedoras para maximizar las sinergias entre los vehículos eléctricos y las fuentes de energía renovable.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

En esta sección se presenta un resumen de los desarrollos actuales en el mercado de los vehículos eléctricos y los incentivos regulatorios vigentes para vehículos ligeros (incluidos los automóviles de pasajeros y los vehículos comerciales ligeros de hasta 35 toneladas), autobuses y camiones. También describe los determinantes claves del potencial de flexibilidad de los VE.

2.1 Evolución del mercado de los VE

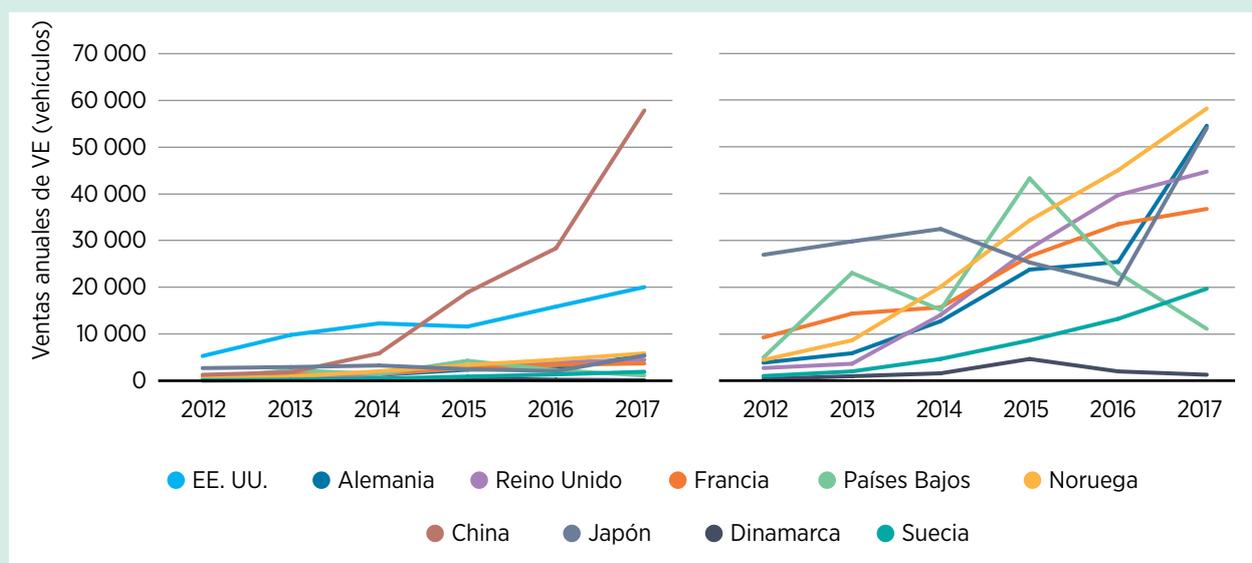
Según el Centro para la investigación en energía solar e hidrógeno Baden-Württemberg (ZSW), a comienzos de 2019 había 5,6 millones de VE en las carreteras del mundo. China y Estados Unidos (EE. UU.) son los mercados más grandes, con 2,6 millones y 1,1 millones de VE, respectivamente². En promedio, las ventas de VE crecieron rápidamente durante el periodo 2012 a 2017, con una tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) del 57%. Sin embargo, el mercado aún está en una fase incipiente, en la que los VE representan solo el 1,3 % de todos los vehículos ligeros vendidos en 2017 (McKinsey, 2018). Los esquemas de respaldo de políticas y los

compromisos internacionales, nacionales y privados para el despliegue de VE son los principales impulsores de la aceptación en el mercado.

El mercado chino de VE ha experimentado el mayor ingreso en ventas, con una TCAC del 114 % entre 2012 y 2017. En 2015 China superó a los EE. UU. en ventas totales de VE, y en 2017 fue responsable del 48 % de las ventas de vehículos eléctricos ligeros en el mundo. El gobierno chino ha ofrecido incentivos monetarios directos para respaldar la compra de VE, incluidos subsidios únicos y exenciones impositivas para la compra, así como incentivos no monetarios, como restricciones para el registro de vehículos de MCI.

Después de China y los EE. UU., los siguientes mercados más grandes están en Europa, con un crecimiento considerable en la venta de VE de 2012 a 2017 en Alemania (TCAC del 75 %), Noruega (70 %) y el Reino Unido (68 %). La Figura 1 muestra la evolución de las ventas de VE en los 10 países que representaron el 88 % de las ventas mundiales de vehículos eléctricos ligeros en 2017.

Figura 1: Evolución de las ventas de vehículos eléctricos en la categoría de vehículos ligeros en determinados países, de 2012 a 2017 (gráficos que incluyen y excluyen a China y los Estados Unidos)



Basado en Navigant Research, 2016c; BNEF, 2017a; ACEA, 2017; OICA, 2017.

2 www.zsw-bw.de/en/newsroom/news/news-detail/news/detail/News/global-e-car-count-up-from-34-to-56-million.html

Aunque los mercados de China y Estados Unidos son los más importantes en cuanto a ventas de vehículos eléctricos, otros países han tenido un mayor éxito en la integración de los vehículos eléctricos en sus flotas de vehículos en general. La Figura 2 muestra la evolución de la penetración del mercado de los VE en ventas de vehículos ligeros. Noruega ha tenido un progreso notable desde 2012 y se ha transformado en líder mundial con una participación de casi el 40 % de VE en 2017. Esto se debió a un entorno normativo favorable en los últimos años que incluía una amplia gama de incentivos, desde exenciones y desgravaciones fiscales hasta exenciones en los peajes de las carreteras y las tarifas de los transbordadores.

Después de Noruega, los mercados con los mayores avances en la integración de VE entre 2012 y 2017 fueron Suecia, los EE. UU. y los Países Bajos, con participaciones de VE que representan el 5,1%, 3,3 % y 2,7 %, respectivamente, del mercado de vehículos ligeros en 2017. Los otros seis mercados más grandes no superaron los índices del 2,5 % de penetración de VE y se sitúan en una posición similar a la media mundial. Cabe señalar que los valores proporcionados para 2017 se refieren únicamente a la penetración de VE en la categoría de automóviles de pasajeros.

La llegada de la paridad del costo total de propiedad con los vehículos de MCI, el fuerte apoyo gubernamental y el compromiso de descarbonizar el sector del transporte son los principales impulsores que favorecerán la adopción de los VE. No solo los clientes privados están pasando gradualmente a los vehículos eléctricos, sino que también hay una tendencia creciente en las empresas a convertir sus flotas en "verdes" como parte de ambiciosos planes

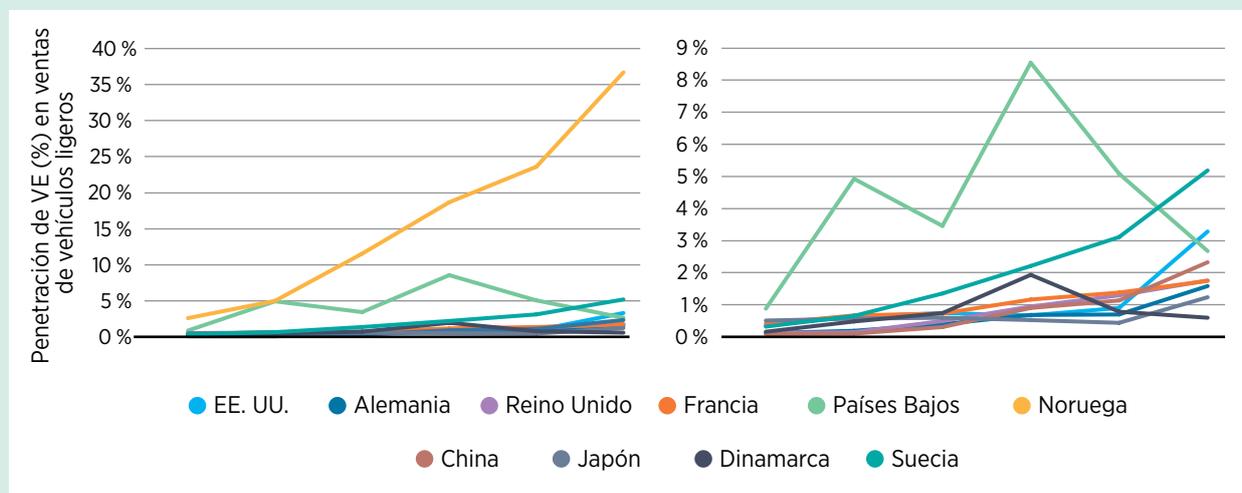
de reducción de las emisiones o de obtener atractivos subsidios. Este tipo de iniciativas representarán una señal de demanda para la industria de los vehículos eléctricos y también alentarán a otros clientes de empresas para empresas (B2B) a realizar actividades similares.

La iniciativa EV100, lanzada por The Climate Group en 2017, anima a las empresas a comprometerse a avanzar hacia flotas corporativas 100 % eléctricas y a instalar infraestructura de carga. En sus primeros meses, la iniciativa ya había sido firmada por 10 multinacionales, entre ellas la compañía eléctrica sueca Vattenfall, el Grupo IKEA y el gigante chino de Internet Baidu (The Climate Group, 2017). Vattenfall tiene el objetivo más ambicioso en cuanto al tiempo de la iniciativa hasta el momento. La compañía ha establecido objetivos para cambiar sus flotas (3 500 vehículos ligeros) a 100 % eléctricos para el año 2022 como parte de su objetivo de ser neutral para el clima para el año 2050. El reemplazo tomará cinco años e incluirá flotas en Alemania, los Países Bajos y Suecia (Vattenfall, 2017).

El servicio postal francés La poste también es pionero en este campo, ya que posee 35 000 vehículos eléctricos de una flota total de 75 000 vehículos (FleetEurope, 2017). En 2017, el grupo DHL de Deutsche Post de Alemania se fijó también el objetivo de lograr una logística de emisiones cero para 2050, en parte mediante el uso de vehículos eléctricos (véase el Recuadro 1).

Además de los vehículos eléctricos convencionales ligeros, existe un gran mercado para otros tipos de vehículos eléctricos, como autobuses y camiones. La Tabla 1 muestra la penetración actual en el mercado de los autobuses y

Figura 2: Evolución de la penetración de los VE en las ventas de vehículos ligeros.



Basado en Navigant Research, 2016c; BNEF, 2017a; ACEA, 2017; OICA, 2017.

Recuadro 1: FLOTA E DE DHL

En 2014, DHL adquirió el fabricante de VE StreetScooter. Gracias a una serie de vehículos StreetScooter desarrollados y fabricados internamente, así como a unas 10 500 bicicletas y triciclos eléctricos, el Grupo Deutsche Post DHL opera hoy en día la mayor flota eléctrica de Alemania. La empresa planea reemplazar su flota de reparto de correo y paquetes completa con VE que se cargan con electricidad generada con fuentes de energía renovables.

La más reciente furgoneta eléctrica de reparto WORK de DHL, desarrollada en conjunto con Ford, tiene una batería de 20,4 kilovatios por hora (kWh) y una autonomía de entre 80 kilómetros (km) y 200 km. Puede transportar un máximo de 700 kilogramos de carga. Más de 2500 de estas furgoneta debían estar en servicio para fines de 2018 (AirQualityNews.com, 2017).

DHL ahora también vende VE, que han sido diseñados para operaciones postales y entregas, a autoridades municipales y otros grandes clientes de la flota.

Tabla 1: Penetración en el mercado de las ventas de autobuses y camiones eléctricos en 2016

Región	Autobuses	Camiones
América del Norte	1 %	0,3 %
Europa Occidental	1 %	0,9 %
Europa Oriental	0 %	0,2 %
Asia Pacífico	28 %	0,2 %
América Latina	0 %	0,0 %
Medio oriente y África	0 %	0,0 %
Total	16 %	0,2 %

Fuente: Navigant Research, 2016a; Navigant Research, 2016b.

camiones eléctricos por región. Al igual que en el mercado de vehículos ligeros, los autobuses y camiones de propulsión eléctrica incluyen vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV) y VE solo a batería (BEV).

El mercado de los autobuses eléctricos se concentra principalmente en la región de Asia Pacífico, en donde se alcanzó una penetración del mercado del 27,6 % en 2016. Desde 2014 ha habido una gran aceptación de los autobuses eléctricos en China, que ahora es responsable del 99 % de las ventas y la flota mundiales. La penetración en el mercado de América del Norte y Europa Occidental es de alrededor del 0,6 %. Mientras que China alcanzó 340 000 autobuses eléctricos en 2017, la mayor flota de estos vehículos en Europa se encuentra en el Reino Unido y representa solo 344 unidades (BNEF, 2018a). Sin embargo, algunos segmentos como el de autobuses escolares, por ejemplo en los EE. UU., tienen un potencial de electrificación que atrae cada vez más la atención de los inversores.

China está a la vanguardia de la electrificación de los autobuses del transporte público debido a los problemas de contaminación atmosférica en sus ciudades y zonas industriales. La estrategia de electrificar el transporte

público proviene de las administraciones de las ciudades que quieren reducir la contaminación del aire. La rápida y fuerte adopción de los autobuses eléctricos en Shenzhen, por ejemplo, ha ayudado a reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero en la ciudad. El cambio a los autobuses eléctricos también está respaldado por el gobierno nacional, que tiene grandes ambiciones en el transporte masivo. Además de la electrificación, China ha invertido en una red nacional de ferrocarriles de alta velocidad, metros y autobuses de tránsito rápido.

En Europa, se espera que la cantidad de autobuses eléctricos crezca considerablemente en los próximos años. Al menos 19 operadores de transporte público y municipios de 25 ciudades europeas han diseñado estrategias de autobuses eléctricos para 2020 (UITP, 2016). Aunque el mercado de los autobuses eléctricos es un segmento de vehículos de pequeña producción y se encuentra todavía en una fase temprana de desarrollo, tiene un gran potencial de crecimiento para el futuro próximo debido al creciente interés y a la necesidad de los gobiernos de descarbonizar el sector del transporte.

El mayor mercado de camiones de propulsión eléctrica se encuentra en la zona de Asia Pacífico, responsable de aproximadamente la mitad de las ventas mundiales en 2016. Sin embargo, los camiones eléctricos alcanzaron la mayor penetración de mercado en Europa Occidental. Si bien este sigue siendo un mercado pequeño, con menos de 10 000 unidades vendidas en 2016, se espera que el uso de camiones eléctricos aumente rápidamente en determinados sectores, como los camiones de servicio y entrega más pequeños (IRENA, 2017a).

2.2 Incentivos de políticas para los vehículos eléctricos y apoyo a la infraestructura de carga

La actual penetración en el mercado de los VE ha sido impulsada principalmente por el apoyo público

(gubernamental) a los automóviles eléctricos, así como por la mayor disponibilidad de infraestructura de carga. Los incentivos monetarios y no monetarios contribuyeron al aumento de las ventas de vehículos eléctricos observado en los últimos cinco años. Esos incentivos se han aplicado a nivel nacional, regional y municipal.

En cuanto a los incentivos monetarios, los Países Bajos, Noruega y Alemania han aplicado aumentos de impuestos asociados al uso de vehículos de MCI y han proporcionado beneficios o exenciones a los VE. Francia, Alemania y el Reino Unido han introducido subsidios únicos para la compra de VE (EC JRC, 2017).

Los incentivos no monetarios pueden actuar como alternativas eficientes a los subsidios costosos. En países como los EE. UU. y Noruega se permite que los VE utilicen los carriles para vehículos compartidos o para autobuses de manera que los consumidores puedan evitar los atascos de tráfico. La creación de zonas de baja emisión para proporcionar un acceso preferencial a los vehículos de baja emisión, como en algunas ciudades alemanas y en el Reino Unido, es también una herramienta cada vez más popular y poderosa para que las ciudades promuevan la movilidad eléctrica. No obstante, estas políticas solo tienen el propósito temporal de impulsar el mercado de la movilidad eléctrica. Mantenerlas implementadas de manera permanente puede tener efectos secundarios, como la saturación de los carriles de automóviles compartidos y de autobuses. También puede ser necesario ajustar el cobro de las carreteras con peaje.

Algunos gobiernos han fijado objetivos en el ámbito de la movilidad eléctrica. En la Tabla 2 se presenta un panorama de las principales metas en materia de movilidad eléctrica en los mercados de VE más importantes. Las metas varían según el país, no solo en cuanto a nivel de ambición (*por ej.,* , año objetivo o cifras absolutas), sino también en cuanto a la manera en que se formulan. La reducción de la contaminación atmosférica no es la única motivación de esos esfuerzos; el Acuerdo de París sobre el cambio climático también desempeña un papel fundamental en el impulso de los compromisos de los países para reducir las emisiones en el sector del transporte. Los gobiernos de Francia, los Países Bajos, Noruega, España y el Reino Unido han fijado fechas límite para la prohibición de la venta de automóviles que funcionan con combustibles fósiles.

Estos objetivos gubernamentales complementan las normas sobre dióxido de carbono (CO₂), tal como las implementadas por la Unión Europea (UE) para los nuevos automóviles y furgonetas de pasajeros. Al establecer límites a las emisiones medias de CO₂ de los nuevos automóviles de pasajeros y furgonetas, la UE pretende incentivar la innovación y el suministro de vehículos de cero y bajas emisiones al mercado.

Además de las flotas de vehículos, algunos gobiernos han fijado objetivos relacionados con el despliegue de infraestructura de carga, ya que la falta de suficiente infraestructura de este tipo es una barrera clave para la venta de vehículos eléctricos.

Los gobiernos y las empresas de servicios públicos de todo el mundo están incentivando la instalación de estaciones de carga en el ámbito residencial, en espacios semipúblicos como los lugares de trabajo y en lugares públicos (véase el Recuadro 2). El apoyo al desarrollo de infraestructura de carga incluye instalaciones ambiciosas de puntos de carga (también llamados equipos de suministro de vehículos eléctrico o EVSE), metas y financiación específica para proyectos de aplicación. Se ha prestado un apoyo considerable en China, varios países europeos y Japón.

Por ejemplo, para desplegar redes de carga rápida, el Banco de Desarrollo de Japón está financiando un consorcio de cuatro fabricantes de automóviles y la empresa de servicios públicos TEPCO (Nippon Charge Service), y los gobiernos municipales chinos están brindando apoyo a 88 ciudades piloto que han estado cooperando con la State Grid Corporation de China. En los Estados Unidos, se ha proporcionado financiación gubernamental parcial para la infraestructura de carga, y las empresas de servicios públicos propiedad de los inversores en California y varios otros estados pueden solicitar la aprobación para desplegar el EVSE financiado por los contribuyentes (es decir, regulado), lo que requiere una revisión parte de los reguladores de las empresas de servicios públicos para garantizar que esas inversiones beneficien a todos los contribuyentes y no sean anticompetitivas.³

Los foros multinacionales de las principales economías del mundo también desempeñan un papel importante en la aceleración de la transición energética hacia una

³ En Europa, el costo de la infraestructura de carga de los VE debe permanecer fuera de la base de activos regulada de los operadores de sistemas de distribución independientes. Por lo tanto, solo son posibles las iniciativas comerciales.

Tabla 2: Objetivos y proyecciones gubernamentales clave para la movilidad eléctrica

PAÍS	METAS
Austria	<ul style="list-style-type: none"> · 1,3 a 3,4 % de VE en la carretera para 2020 · Entre 3500 y 4700 puntos de carga accesibles al público para 2020
Bélgica	<ul style="list-style-type: none"> · 1,3 % de VE en la carretera para 2020 · 8300 puntos de cobro accesibles al público para 2020 · Prohibición de la circulación de automóviles diésel en Bruselas a partir de 2030 (Manthey, 2018)
China	<ul style="list-style-type: none"> · 4 % de penetración de las ventas de VE (PHEV y VEB) en el mercado de automóviles de pasajeros para 2020 · En 2017, el país debatió una posible prohibición de la producción y venta de automóviles diésel y a gasolina, que se implementará «en un futuro próximo» (Guardian, 2017).
Francia	<ul style="list-style-type: none"> · Prohibición de las ventas de automóviles a combustible fósil a partir de 2040
Alemania	<ul style="list-style-type: none"> · 1 millón de VE en la carretera para 2020 · 1000 estaciones de carga de VE nuevas en las autopistas entre 2017 y 2020
India	<ul style="list-style-type: none"> · Prohibición de las ventas de automóviles a combustible fósil a partir de 2030
Japón	<ul style="list-style-type: none"> · Aumentar la cuota de ventas de VE a entre el 20 % y el 30 % para 2030
Países Bajos	<ul style="list-style-type: none"> · Prohibición de las ventas de nuevos automóviles a gasolina y diésel a partir de 2025
Noruega	<ul style="list-style-type: none"> · Todos los automóviles y furgonetas vendidos en 2025 deben ser vehículos de emisión cero
República de Corea	<ul style="list-style-type: none"> · 200 000 VE para 2020
España	<ul style="list-style-type: none"> · Proyecto de ley para prohibir la venta de automóviles de combustibles fósiles para 2040 y su circulación para 2050 (Sauer y Stefanini, 2018) · Prohibición de las ventas de nuevos automóviles a gasolina y diésel a partir de 2040
Reino Unido	<ul style="list-style-type: none"> · 60 % de las ventas de VE para 2030 y 100 % para 2040 · 1,55 millones de VE en la carretera para el 2020
EE. UU.	<p>Aunque no existen objetivos claros a nivel nacional, muchos estados y ciudades han establecido sus propios objetivos. Por ejemplo:</p> <p>Ciudades</p> <ul style="list-style-type: none"> · Nueva York tiene una meta del 20 % de penetración de las ventas de VE para 2025 y de una flota completa de autobuses eléctricos para 2040 · Los Angeles apunta a tener un cuota del 10 % de VE en la ciudad para 2025 y del 25 % para 2035 <p>Estados</p> <ul style="list-style-type: none"> · California apunta a alcanzar 1,5 millones de vehículos ligeros con cero emisión para 2025 y 5 millones para 2030. Planea gastar 2500 millones de dólares entre 2018 y 2025 para ampliar la infraestructura de carga eléctrica. · Illinois tiene como objetivo un 60 % de ventas de PHEV y un 15 % de ventas de VE para 2025. · En 2014, los gobernadores de ocho estados (California, Connecticut, Maryland, Massachusetts, Nueva York, Oregón, Rhode Island y Vermont) se comprometieron a alcanzar colectivamente 3,3 millones de vehículos de cero emisiones en sus carreteras para 2025, o 1,8 millones si se excluye California

Basado en EC, 2017; SLoCaT, 2017.

Recuadro 2: INCENTIVOS PARA INFRAESTRUCTURA DE CARGA: ESTUDIOS DE CASOS

Unión Europea (ICCT, 2016)

A nivel de la UE, una directiva sobre el despliegue de la infraestructura de combustibles alternativos aprobada en 2014 pedía a los Estados Miembros delinear planes de implementación y metas para la instalación de puntos de carga eléctrica, entre otros tipos de infraestructura. Además, de 2013 a 2015, en el marco del programa TEN-T de la UE, se invirtieron alrededor de 35 millones de euros en la instalación de casi 600 estaciones de carga rápida en las principales redes de carreteras del norte de Europa.

Irlanda (Gallagher, 2018)

Para apoyar el objetivo del gobierno de lograr una penetración del 30 % en la venta de vehículos de cero emisiones en el mercado automotor para 2030, se implementó una nueva medida en 2018 en virtud de la cual los propietarios de automóviles eléctricos pueden reclamar una subvención de hasta 600 euros para cubrir la compra e instalación de puntos de carga residenciales

Ámsterdam, Países Bajos (BNEF, 2017b)

En 2016, la ciudad contrató a la empresa de servicios públicos Nuon para instalar puntos de carga públicos. Bajo ciertas condiciones, los propietarios de VE son elegibles para solicitar la instalación gratuita de un punto de carga público. Por ejemplo, los propietarios de VE no deben tener su propio sitio ni tener acceso a un estacionamiento privado, y deben poseer o tener derecho a un permiso de estacionamiento en el domicilio solicitado. A cambio, la Municipalidad de Ámsterdam está autorizada a utilizar los datos sobre el cobro, aunque de forma anónima, para fines de investigación.

Reino Unido (Gobierno del Reino Unido, 2016)

La Oficina de vehículos de bajas emisiones ofrece esquemas de subvenciones para cubrir parte del costo asociado a la instalación de la infraestructura de carga de los VE. Los montos financiados y las condiciones dependen de los usuarios finales de los sistemas de carga. El Esquema de carga en casa de los vehículos eléctricos ofrece subvenciones a los clientes residenciales que pueden cubrir hasta un 75 % de los costos de compra e instalación totales. Desde julio de 2019, solo los puntos de carga en las casas que usen tecnología inteligente serán elegibles para recibir esta financiación del gobierno. Los puntos de carga inteligentes son aquellos que pueden recibir, entender y responder las señales enviadas por los operadores del sistema de energía o por terceros para indicar cuándo es un buen momento para cargar o descargar según la oferta y la demanda totales de energía (RECC, 2019). Hay diseñado un esquema similar para las autoridades locales que deseen instalar puntos de carga residenciales en la calle. En el marco del Esquema de carga en el trabajo, las empresas, las organizaciones de beneficencia y las organizaciones del sector público pueden solicitar un vale de 300 libras esterlinas por enchufe hasta un límite de 20.

California, EE. UU. (Guinn, 2017)

California tiene la mayor penetración de VE en el mercado estadounidense. Alrededor de 15 programas implementados por el gobierno del estado, los servicios públicos o los municipios incentivan la instalación de estaciones de carga. Un grupo específico de clientes (lugares de trabajo, casas multifamiliares, comunidades desfavorecidas, empresas, instalaciones municipales, etc.) recibe reembolsos de EVSE o créditos fiscales. Por ejemplo:

- *Burbank Water and Power* ofrece a los clientes que instalen un punto de carga de Nivel 2 (240 voltios (V)) un reembolso de hasta USD 500 (residencial) y USD 1000 (comercial). Para hacerse acreedores del reembolso, los solicitantes deben estar en la tarifa de electricidad por tiempo de uso.
- El programa *Charge Ready* de Southern California Edison (SCE) crea alianzas entre SCE, un servicio público de electricidad regulado y los «anfitriones de sitios» locales de EVSE. Los anfitriones de los sitios se comprometen a comprar EVSE elegible a su propio costo, y SCE instala, mantiene y recupera los costos de los contribuyentes para la preparación del sitio y las mejoras del sistema de distribución.
- El *San Joaquin Air Pollution Control District*, en el marco de su programa *Charge Up!*, ofrece financiación a agencias públicas y empresas de la región para la instalación de puntos de carga de VE públicos. Los solicitantes pueden recibir hasta USD 50 000 por año o hasta USD 5000 por unidad.

Recuadro 3: CAMPAÑA DE VE DE CLEAN ENERGY MINISTERIAL

Un ejemplo interesante de apoyo multinacional al despliegue de vehículos eléctricos es la campaña EV30@30 aprobada recientemente de Clean Energy Ministerial (CEM), en el marco de la Iniciativa de Vehículos Eléctricos (EVI). La campaña apunta a impulsar el mercado de la movilidad eléctrica, en términos de adopción de la flota y despliegue de infraestructura, mediante la fijación de una meta del 30 % de ventas para 2030. Sin embargo, la meta se aplica colectivamente a los miembros de CEM-EVI que han apoyado al iniciativa: los gobiernos de Canadá, China, Finlandia, Francia, la India, Japón, México, los Países Bajos, Noruega y Suecia.

La campaña también ha obtenido el apoyo del C40, la Fundación FIA, la Iniciativa Global Fuel Economy, el Consejo para la defensa de los recursos naturales, la Asociación para el Transporte Sostenible de Bajas Emisiones de Carbono (SLoCaT), The Climate Group, Medio ambiente de las Naciones Unidas, ONU-Hábitat y la Alianza internacional de vehículos de cero emisiones (ZEV Alliance) (CEM-EVI, 2017).

Los gobiernos de Francia, los Países Bajos, Noruega, España y el Reino Unido ya han anunciado plazos para la prohibición de la venta de automóviles que funcionan con combustibles fósiles. Varios países han declarado metas para la movilidad eléctrica y la infraestructura de carga de VE y han implementado una amplia variedad de incentivos monetarios y no monetarios.

movilidad no contaminante. En el Recuadro 3 se detalla la iniciativa de VE de la Clean Energy Ministerial(CEM).

En el Anexo 1 se presenta una panorama general de los diversos apoyos de políticas en materia de energía renovable existentes, que incluyen incentivos monetarios y no monetarios, así como una serie de estudios de casos.

2.3 Participación de la energía renovable en el parque eléctrico en los mercados de movilidad eléctrica

Los vehículos eléctricos cuentan con tres ventajas principales para el sector del transporte: Primero, funcionan con un combustible más económicos, lo cual significa que los costos por kilómetro de la electricidad suelen ser menores que los de la gasolina o el diésel. Segundo, los VE no emiten contaminación local. Contribuyen a la reducción de la emisión de material particulado y ruidos. Tercero, la eficiencia energética de un tren de potencia eléctrico es mucho mayor que la del de un MCI. En el caso de un VE, el consumo de combustible de la bomba a las ruedas es de alrededor de un tercio a un cuarto del de un vehículo eficiente con MCI (ERPI, 2018).

Además, en general, los VE emiten menos gases de efecto invernadero que los vehículos con MCI, incluso si se los carga predominantemente «con combustibles fósiles» (Creara, 2017). Tal como se muestra en la Figura 3, las emisiones relativas de CO₂ de los VE dependen del parque de suministro de la red. Por ejemplo, los VE en China siguen emitiendo menos CO₂ en promedio que un vehículo

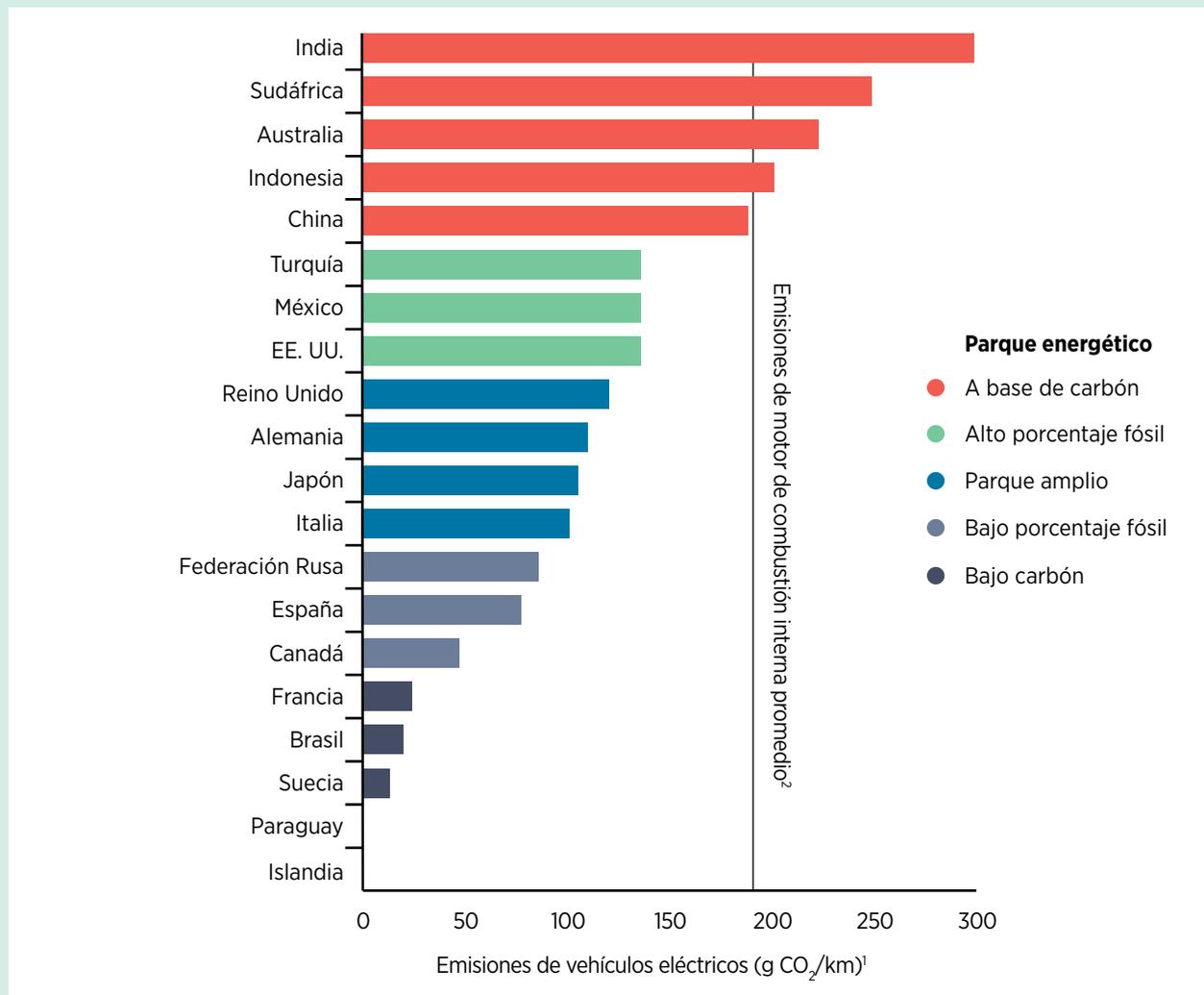
con MCI, mientras que los VE en Australia y en la India emiten más CO₂ en promedio que un vehículo con MCI. Por el contrario, en Islandia, los VE casi no generan emisiones

Incluso si no se los carga con electricidad basada en un parque eléctrico renovable, el efecto inmediato de los VE de reducir la contaminación atmosférica en las ciudades, que causa millones de muertes prematuras cada año, representa un importante primer paso. La Organización Mundial de la Salud estima que 9 de cada 10 personas en el mundo viven en lugares donde el aire contiene altos niveles de contaminantes, y la contaminación del aire ambiental es responsable de unos 4,2 millones de muertes anuales debido a accidentes cerebrovasculares, afecciones cardíacas, cáncer de pulmón y enfermedades respiratorias crónicas (OMS, 2018).

Sin embargo, para lograr una verdadera descarbonización del transporte a través de la electrificación, sería necesario producir la electricidad utilizada para cargar los paquetes de baterías de los VE a partir de fuentes renovables.

El potencial para descarbonizar el transporte mediante el uso de vehículos eléctricos cargados con electricidad renovable está en gran medida desaprovechado debido a la baja participación de las energías renovables en el parque eléctrico de los países con la mayor cantidad de VE en las carreteras, como los Estados Unidos. Del mismo modo, los países con altas cuotas de energías renovables pueden beneficiarse de una mayor electrificación del transporte. Para disfrutar de todos los beneficios de ambas opciones, la electrificación del transporte debe ir acompañada de la

Figura 3: Emisiones de dióxido de carbono de los VE



¹ Los resultados incluyen las emisiones directas de la red, las emisiones indirectas de la red y las pérdidas

² GreenVehicleGuide, gobierno de Australia

Fuente: Creara, 2017.

descarbonización del sector eléctrico, y no una sin la otra. Las siguientes cifras exploran la manera en que puede usarse la electricidad limpia para la flota existente de VE.

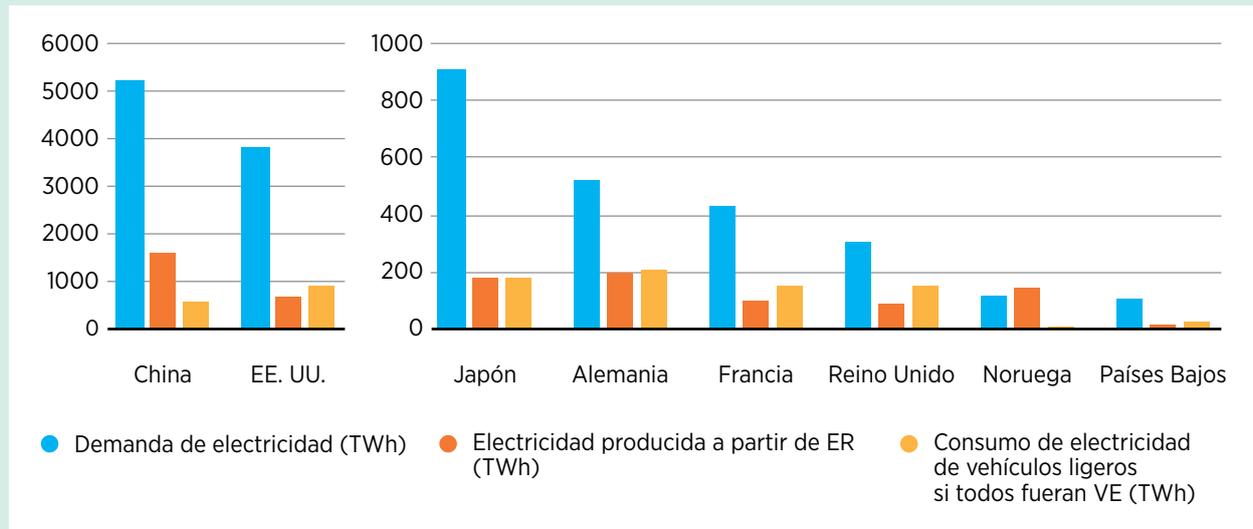
La Figura 4 muestra la demanda total de electricidad en 2016, así como una estimación del consumo total de electricidad de los vehículos ligeros (si todos fueran eléctricos). Si todos los vehículos ligeros fueran eléctricos en países como los EE. UU. representarían un 24 % de la demanda total de electricidad. Dado que la cantidad total de electricidad producida a partir de renovables en los Estados Unidos es de alrededor del 18%, no sería posible satisfacer la demanda de energía para todos los vehículos ligeros, ni siquiera teóricamente, utilizando "electricidad renovable". Este sería también el caso de países como Japón y Alemania, entre otros, aunque en menor medida.

Esto indica claramente la necesidad de intensificar los esfuerzos de descarbonización en estos países.

En la Figura 5 se muestra la relación entre tres indicadores en los mismos 10 países analizados en la Figura 1: Penetración de los VE en la flota de vehículos ligeros, participación de la energía renovable en la generación de electricidad y tamaño actual de la flota de VE.

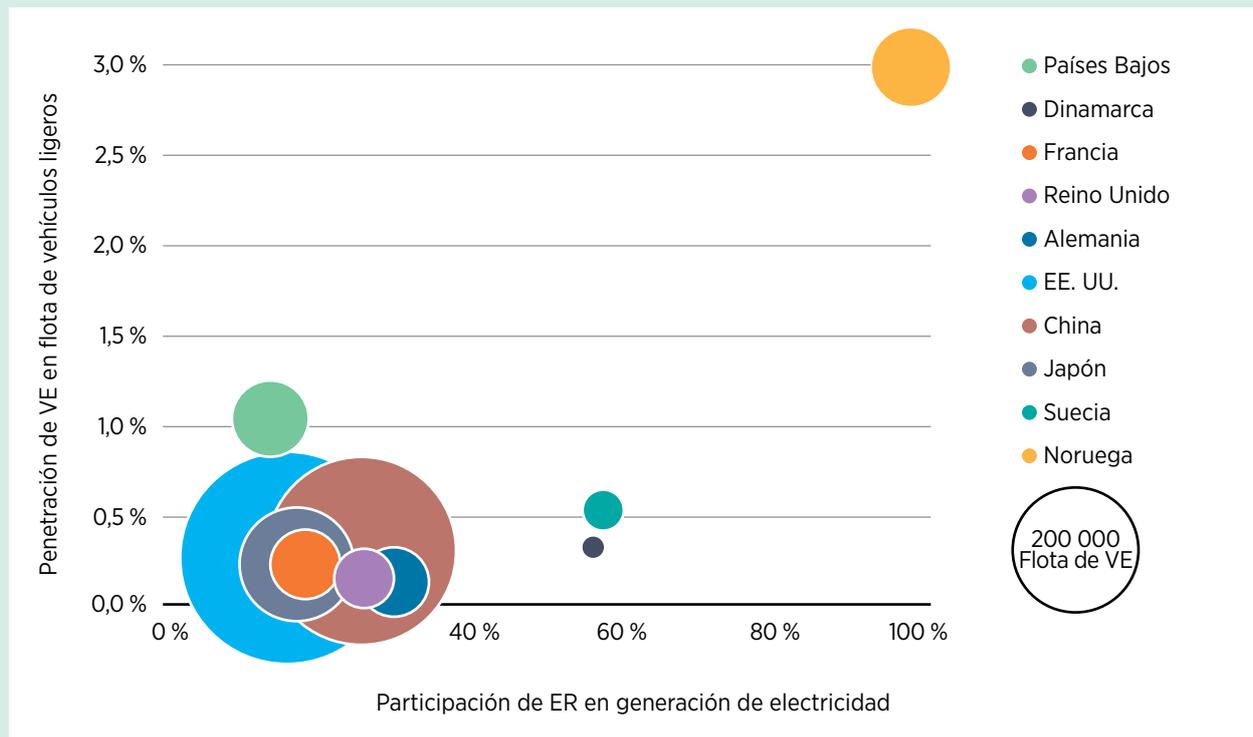
Noruega es el país que tiene más posibilidades de suministrar energía limpia para cargar una flota nacional de VE completa. No solo cerca del 98 % de la generación de electricidad del país proviene de fuentes renovables, sino que la cantidad total de VE en Noruega también tiene un tamaño limitado en comparación con China y los EE. UU. Finalmente, el parque de energía noruego se basa en energía hidráulica y, por lo tanto, es más flexible que los

Figura 4: Demanda de electricidad, producción de electricidad renovable y demanda de energía de VE en países seleccionados en 2016



Basado en Enerdata, 2016; BNEF, 2017c; Tractebel, 2017.

Figura 5: Indicadores de penetración de la movilidad eléctrica limpia en países seleccionados en 2016



Basado en Enerdata, 2016; Navigant Research, 2016c; ACEA, 2017.

sistemas eléctricos basados en energías renovables como la solar y la eólica. El parque eléctrico nuclear de Francia, si bien tiene una baja participación de renovables, también es predominantemente bajo en carbón.

La carga de los VE con energía renovable se torna más difícil cuando no se dispone de generación hidroeléctrica y debe usarse la energía solar y eólica variable para abastecer al sector del transporte. Mientras que los países con las cantidades más altas de VE (China, Francia, Japón y los EE. UU.) tienen una pequeña

participación de energía eólica y solar en su parque de generación, en Dinamarca y los Países Bajos casi toda la electricidad renovable es generada por energía eólica. Si se utilizara solo viento para satisfacer la demanda de electricidad de los VE, entonces Dinamarca, con el 51 % de su generación eléctrica proveniente de parques eólicos y con una flota de VE de tamaño limitado, sería el país que está más cerca de cumplir con la demanda de los VE de electricidad con viento (Figura 6).

Las flotas de vehículos eléctricos pueden crear una gran capacidad de almacenamiento de electricidad para guardar el excedente de producción cuando la generación de electricidad renovable excede la demanda. Sin embargo, los patrones de carga más óptimos dependerán del parque de energía renovable. Las estrategias de integración de los VE en el sistema eléctrico son muy diferentes en un sistema con altas participaciones de generación solar que en un sistema donde prevalece la generación eólica.

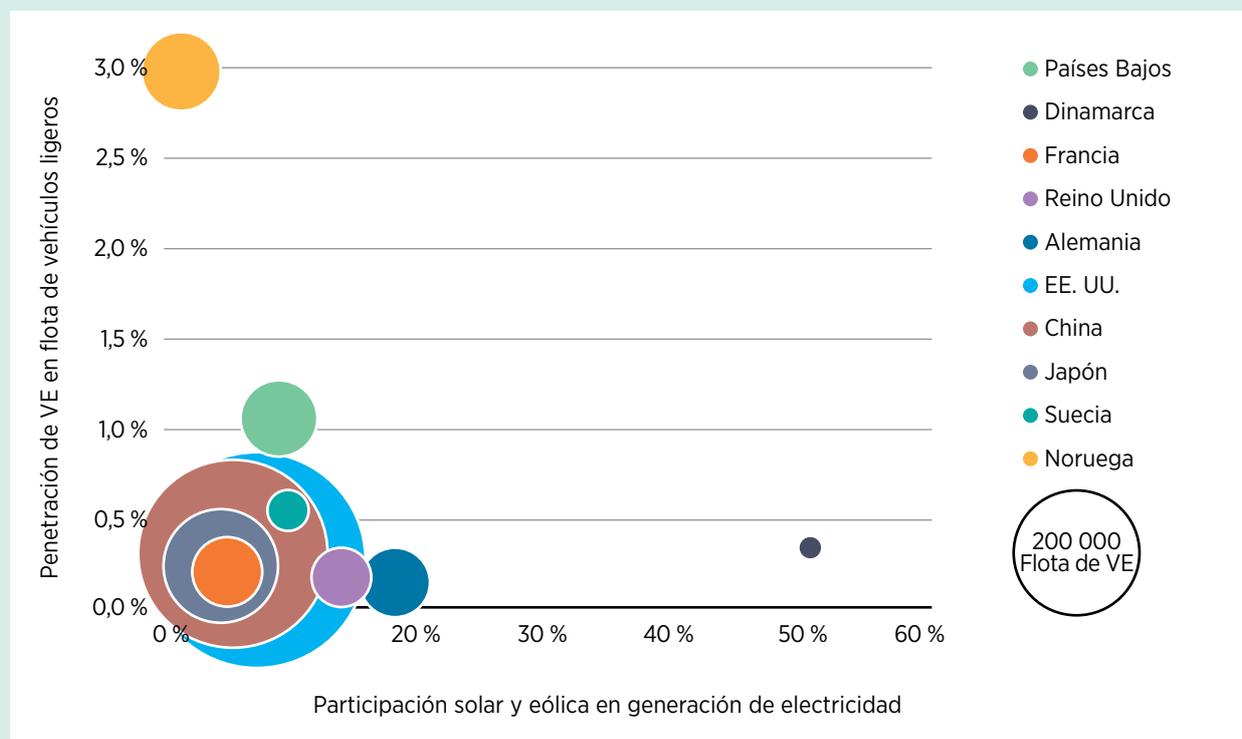
En las Figuras 7 y 8 se destaca la participación eólica y solar en la generación de electricidad por separado. Los ejemplos de Japón y Suecia son dignos de mención. Mientras que toda la generación de ERV de Suecia

proviene del viento, la de Japón es de origen solar. En este sentido, Japón podría usar sus 26 GW de almacenamiento hidráulico bombeado para almacenar el exceso de energía solar fotovoltaica durante el día, y luego usar esa electricidad para cargar los VE durante la noche. Sin embargo, en el caso de Suecia, la carga de los VE podría extenderse más a lo largo del día y la noche para ajustarse a los perfiles del viento.

El tipo de participación en la electricidad de la ERV, los patrones de manejo y las necesidades de carga son las tres variables que deben ser tenidas en cuenta conjuntamente cuando se maximizan las sinergias entre los VE y las ERV y la descarbonización de la flota de transporte. En la sección 6 se presentan perspectivas con mayor profundidad

Si bien los vehículos eléctricos no liberan emisiones cuando son conducidos, utilizan electricidad que a menudo sigue proviniendo en gran medida de combustibles fósiles. Para disfrutar de todos los beneficios de ambas opciones, la electrificación del transporte debe ir acompañada de la descarbonización del sector eléctrico.

Figura 6: Penetración de VE en flotas de vehículos ligeros comparada con la cuota de energía solar y eólica en la generación de electricidad en países seleccionados en 2016



Basado en Enerdata, 2016; Navigant Research, 2016c; ACEA, 2017.

Figura 7: Penetración de VE en flotas de vehículos ligeros comparada con la cuota de energía eólica en la generación de electricidad en países seleccionados en 2016

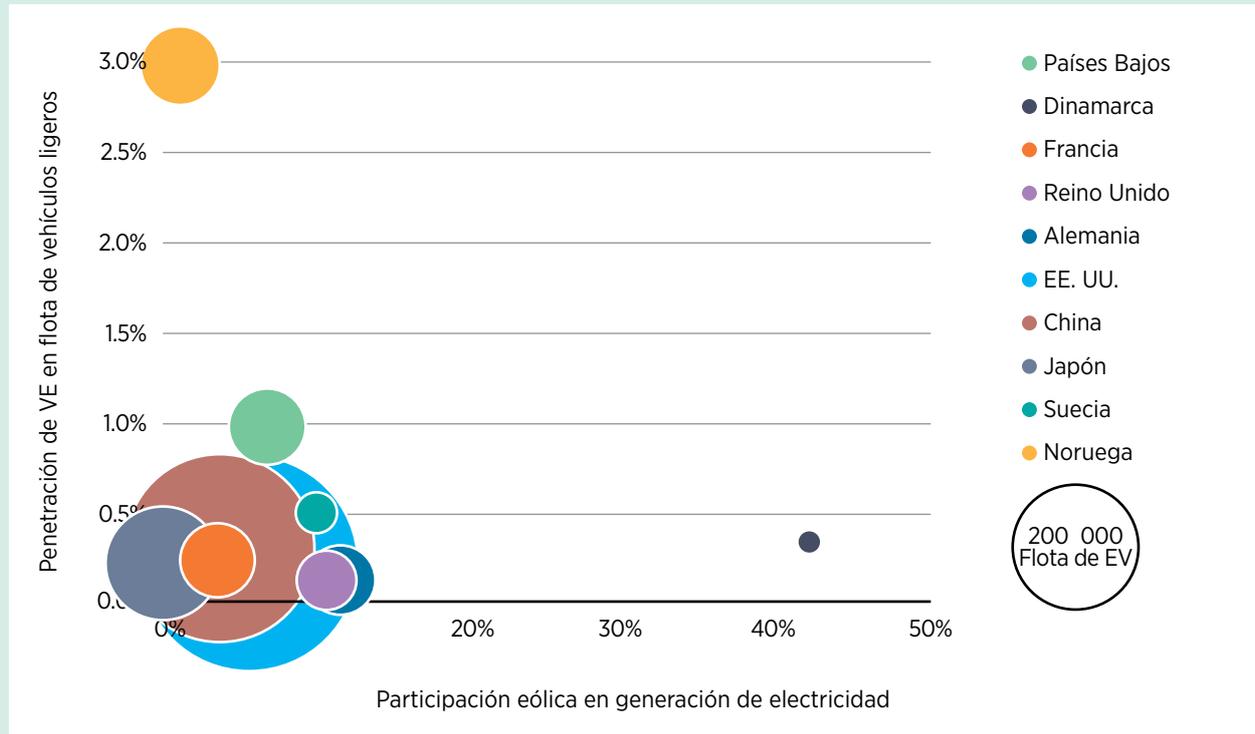
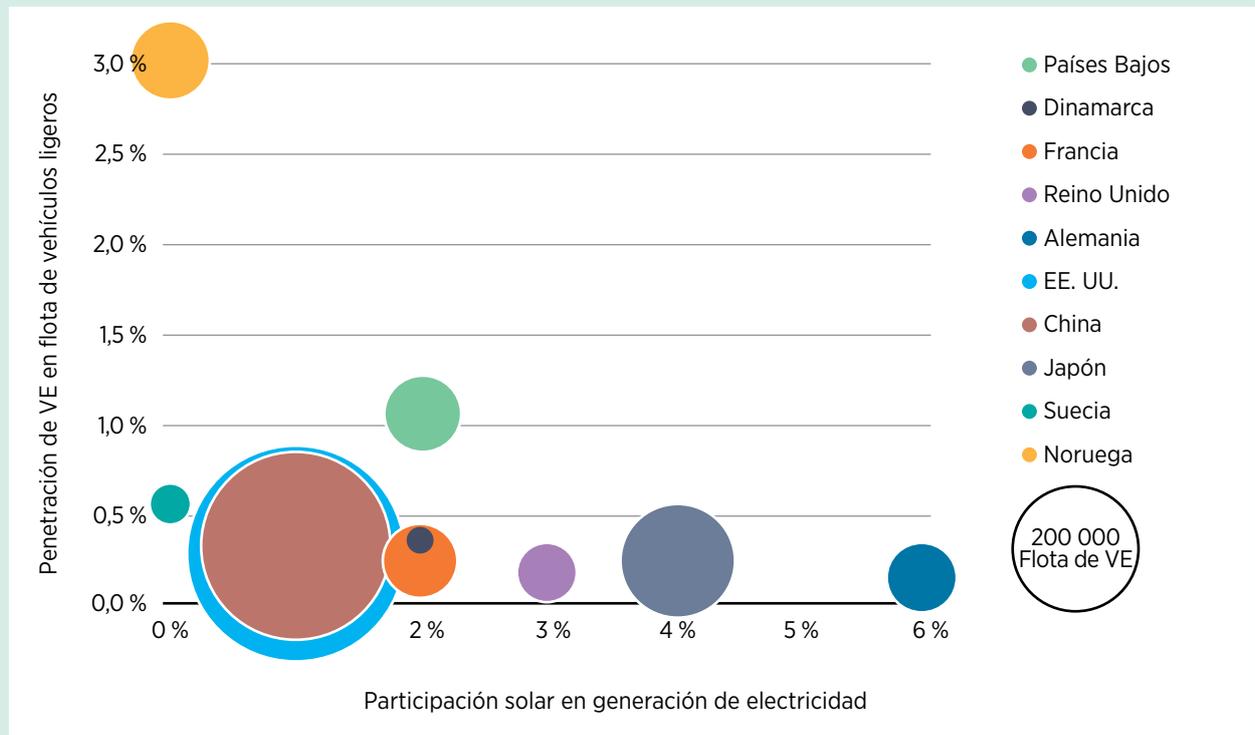


Figura 8: Penetración de VE en flotas de vehículos ligeros comparada con la cuota de energía solar en la generación de electricidad en países seleccionados en 2016



Basado en Enerdata, 2016; Navigant Research, 2016c; ACEA, 2017.

acerca del impacto de la integración de los VE a los sistemas aislados de alta energía solar o eólica.

2.4 Potencial de flexibilidad de los VE

Se espera que la adopción de la carga inteligente para la movilidad eléctrica establezca un bucle de retroalimentación positiva con la integración de las energías renovables, dado que la movilidad eléctrica es una carga con alta capacidad energética, móvil y controlable. Los estudios han demostrado que los automóviles en general, incluidos los vehículos eléctricos, permanecen estacionados durante aproximadamente el 95 % de su vida útil (Pasaoglu *et al.*, 2012). Esto, combinado con su capacidad de almacenamiento, podría transformar a los VE en una solución de flexibilidad atractiva para brindar apoyo a la operación del sistema. Podría transformarse en unidades de almacenamiento conectadas a la red con el potencial de brindar una amplia gama de servicios al sistema. El análisis de IRENA indica que la capacidad de la batería de los futuros VE puede empequeñecer la capacidad de la batería estática. En 2050, habrá alrededor de 14 teravatios hora (TWh) disponibles de baterías de VE para brindar servicios de red, en comparación con los 9 TWh de baterías estáticas (IRENA 2019b).

El consumo típico de electricidad de un VE que recorre 15 000 km/año es de alrededor de 3 000 kWh/año. Incluso con la carga lenta (*es decir*, cargando con baja potencia, por ejemplo 3,7 kW), el tiempo total requerido para cargar la energía anual es de un 10 % del tiempo que un automóvil permanece sin ser usado. Suponiendo que un VE esté conectado a una infraestructura de carga el 100 % de su tiempo de estacionamiento, esto significa que la “ventana de flexibilidad” anual para

cargar representa alrededor del 85 % del tiempo. En teoría, esto se traduciría en una producción de energía flexible de alrededor de 3000 kWh/año por automóvil. Dicho de otro modo, los VE pueden cargarse en una fracción del tiempo que están estacionados. El incentivo a la carga en momentos en que la electricidad está en su menor precio es una oportunidad significativa para el sistema eléctrico y para los propietarios de VE.

En la práctica, la flexibilidad puede ser menor debido a las restricciones horarias de los conductores, con la carga rápida o cuando el vehículo está estacionado pero no está enchufado. Los diferentes factores que determinan la cantidad de energía de (des-)carga flexible disponible de los VE disponibles en el sistema se resumen en la Figura 9.

VE que proveen flexibilidad al sistema eléctrico en la actualidad

Hoy, la flota de VE es muy limitada y los automóviles aún tienen baterías relativamente pequeñas. Los VE ya pueden ayudar a maximizar el autoconsumo de la producción renovable en el lugar. Sin embargo, la flexibilidad que brindan los VE a la red es limitada. Su capacidad actual total de almacenamiento es marginal desde el punto de vista del sistema eléctrico.

El tiempo que el automóvil puede estar conectado a la red depende del tiempo de inmovilización, que está determinado por el tipo de vehículo y su uso. Los taxis o autobuses que recorren una gran distancia diaria tendrán menos tiempo de inmovilización y, por lo tanto, menos flexibilidad que los automóviles individuales utilizados por los particulares. Mientras que un autobús o camión eléctrico puede utilizar el 100 % o más de la capacidad de la batería todos los días, los automóviles de pasajeros y los vehículos de

Figura 9: Factores que determinan la cantidad de flexibilidad disponible en una único VE

 CUÁNTO TIEMPO: Parado y «enchufado»	 CUÁNDO: Durante el día	 DÓNDE: Lugar de carga	 QUÉ: Tecnología de carga/ nivel de potencia	 QUÉ CANTIDAD: Capacidad de la batería y estado de carga deseado al salir
<ul style="list-style-type: none"> • Vehículos personales • Taxis • Autobuses 	<ul style="list-style-type: none"> • Día • Tarde • Noche 	<ul style="list-style-type: none"> • Hogar • Oficina • Autopista • Lugares de destino (lugares de recreación, centros de venta minorista...) 	<ul style="list-style-type: none"> • Lento • Rápido • Equipado con V2X 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingreso VEB • VEB de alta gama • Autobuses

dos ruedas pueden usar de un 40 a un 50 % (Ghatikar *et al.*, 2017).

El momento y el lugar en que se carga el vehículo también dependen del tipo de vehículo, su uso, la geografía y la disponibilidad de la infraestructura:

- Los *automóviles eléctricos individuales* tienen patrones de carga predecibles:
 - La carga de larga duración (> 4 horas) proporciona la mayor flexibilidad al sistema: la mayor parte de la carga ocurre en casa durante el atardecer y la noche y en el lugar de trabajo durante el día. Los conductores de VE sin carga en sus casas necesitan que se les asigne una carga en el lugar de trabajo.
 - La carga de media duración (30 minutos a 2 horas) en centros de comerciales o recreativos (cine, gimnasio, etc.) o la carga de corta duración (15 minutos a 1 hora) brindan mínima flexibilidad al sistema y no son adecuadas para los servicios de red: la carga rápida en las autopistas es bastante excepcional hoy en día, ya que los VE todavía no se utilizan en la mayoría de los viajes largos (principalmente debido al problema de la autonomía limitada y la falta de infraestructura de carga adecuada).
- Los patrones de carga de los *automóviles compartidos y comerciales* (por ejemplo, taxis y otras flotas de vehículos) pueden ser menos predecibles, según los modelos de negocios. Sin embargo, los ingresos del servicio de transporte son críticos y el tiempo de parada debería reducirse al mínimo, lo que llevaría a un menor tiempo de conexión a la red y una mayor potencia de carga, en comparación con los automóviles individuales. Aunque el transporte de carga puede realizarse principalmente durante la noche, los servicios comerciales como los taxis siguen teniendo una mayor demanda durante el día.
- Los patrones de carga de los *autobuses eléctricos* dependen del lugar de carga:
 - Larga duración (> 4 horas) en la estación de autobuses
 - Duración media (10 minutos) en el final de recorrido del autobús
 - Duración muy corta (carga super rápida) (30 segundos) en la parada de autobús

La interacción con el propietario del vehículo es clave, incluido el pronóstico de uso en términos de programación y distancia de manejo.

Según la geografía y específicamente el acceso a los espacios de estacionamiento privados a nivel residencial,

las proporciones entre los lugares de carga puede diferir. En áreas con menor densidad de población, la mayoría de los ciclos de carga se llevan a cabo en los hogares o en el trabajo. En las ciudades muy pobladas sin puntos de carga en las casas o en el trabajo, se podría hacer una mayor proporción de carga en lugares públicos en la ciudad. Los grandes espacios de estacionamiento o las estaciones de autobuses tienen más oportunidades técnicas e incentivos para contribuir con la flexibilidad energética que los lugares de carga dispersos. Sin embargo, la mayor parte de la carga se realiza en las casas y en la oficina en la actualidad debido a que los vehículos son propiedad de individuos y al bajo costo de este tipo de carga. Esto determina el tipo de infraestructura de carga que se utiliza:

- Hoy en día, la mayor parte de los cargadores son lentos y están instalados en lugares privados o semipúblicos. Partiendo de la base de que cada automóvil cuenta principalmente con un cargador privado, la Agencia Internacional de la Energía estimó que los cargadores privados superaban a las estaciones de carga pública en más de seis a una en 2016. Sin embargo, las instalaciones de carga rápida han estado creciendo a un ritmo mayor que las de carga lenta en los últimos años (IEA, 2017).
- En este momento, es posible que las estaciones de carga y los automóviles aún no estén equipados para la carga inteligente. Aún no están desarrolladas todas las condiciones previas técnicas, incluida la capacidad de las estaciones de carga y los vehículos de comunicarse entre sí y brindar energía flexible mediante la descarga.

La cantidad de capacidad de batería que se puede poner a disposición para la carga inteligente depende de la capacidad de la batería del vehículo y de las necesidades de los conductores:

- Capacidad de la batería: los vehículos eléctricos de 2-3 ruedas ofrecerán menos flexibilidad energética que los automóviles de alta gama con baterías más grandes. A continuación se presentan algunos órdenes de magnitud (EAFO, 2017):
 - Ingreso VEB: 20-40 kWh en 2017 (por ej., Renault Zoe, Nissan LEAF), 40-60 kWh en 2018-2019 (por ej., Renault Zoe, Nissan LEAF, VW eGolf)
 - VEB de alta gama: 60-100 kWh en 2017-2018 (por ej., Modelo S Tesla)
 - Automóviles PHEV: alrededor de 8-16 kWh
 - Autobuses VEB en 2017: 100-400 kWh (algunos modelos hasta 600 kWh)
 - Motocicletas eléctricas: generalmente 3-20 kWh
 - Bicicletas eléctricas: generalmente 500 kWh

- Debe garantizarse el estado de carga suficiente, es decir, la capacidad disponible de la batería al momento de salida. Al momento de la desconexión, la batería debería tener un estado de carga que cumpla con la autonomía que necesita el conductor (por lo general un 70-80%), de manera que el automóvil puede seguir ofreciendo la autonomía suficiente. Sin embargo, la importancia de este parámetro disminuirá a medida que las baterías de los VE sean más grandes, y con los mayores niveles de penetración de las estaciones de carga.
- La capacidad que puede proveer un VE para servicios de flexibilidad aumentará si el VE está habilitado para V2X (por ej., alrededor de tres a cuatro veces en comparación con V1X). El aumento del mantenimiento, la reducción de la eficiencia y el impacto en la vida útil de la batería debido a los patrones de carga y descarga (garantía, ansiedad por la autonomía, etc.) también deben ser evaluados más a fondo antes de su despliegue masivo, ya que estas preguntas persisten a pesar de varios resultados positivos en las pruebas (De Vroey, 2016) (ver Anexo 2).

VE que ofrecerán flexibilidad al sistema eléctrico para 2030

En el futuro, la disponibilidad de flexibilidad aumentará en gran medida con la cantidad de VE en las rutas, pero también se verá afectada por los desarrollos en el sector del sistema eléctrico y por las tendencias de la movilidad, tal como se describe en la Figura 11 y la Tabla 3.

Para 2030, lo más probable es que la propiedad individual de los vehículos siga prevaleciendo sobre el uso compartido. Como resultado es posible esperar un aumento de la flexibilidad:

- Más VE disponibles para la red debido a la caída de los costos: Los VE se volverán más económicos debido a la caída del costo de la batería y a las políticas de los gobiernos, tal y como se describe en la sección anterior.
- Las baterías más grandes ayudan a superar la ansiedad por la autonomía: habrá más VE con baterías de mayor tamaño conectadas a la red. Los paquetes de baterías serán más grandes, con un aumento de 20-30 kWh actuales a 40-60 kWh, con autonomías de alrededor de 300 kilómetros que se generalizarán en los próximos dos años y seguirán creciendo.
- Automóviles, estaciones de carga y funciones de carga y descarga inteligente: con el avance de la estandarización y a medida que aumenten los requerimientos para un mejor control de la potencia

de carga, los vehículos y los puntos de carga tendrán opciones de carga inteligente incluida la descarga como característica común (provista por los fabricantes de automóviles), y técnicamente permitirán la prestación de servicios complementarios a la red. Un vehículo eléctrico producido en serie con carga de corriente alterna (CA) y con capacidad de conexión a la red (V2G) reduciría enormemente el costo de entrada para los clientes (Kempton, 2016).

- Más oportunidades para los conductores de VE de cargar en los lugares de trabajo.

La carga rápida seguirá siendo limitada ya que los conductores la usarán principalmente para viajes de larga distancia y para las recargas necesarias considerando que se dispone de autonomía suficiente y siempre que la carga en casa siga siendo más barata. Mientras que la capacidad de carga nominal más alta en general aumenta el reto de la carga descontrolada, la carga rápida durante el día podría estar alineada con las necesidades de la red en áreas con alta producción solar durante el día.

VE que ofrecerán flexibilidad al sistema eléctrico para 2050

Entre 2030 y 2050, esta situación podría cambiar sustancialmente. Es posible que surjan y se apliquen ampliamente modelos de negocios de movilidad, como la movilidad como servicio (MaaS) -es decir el transporte multimodal sin interrupciones- y tecnologías tales como los vehículos autónomos, lo que dará lugar a un cambio de la propiedad individual de los vehículos a la gestión de flotas.

Los estudios han demostrado que el «transporte compartido» podría dar lugar a un aumento de la cantidad de kilómetros recorridos a medida que se produce el cambio de transporte público hacia transporte privado compartido a mayor escala. Sin embargo, también debería dar lugar a un menor uso de los automóviles particulares con pocos pasajeros, lo que a su vez podría implicar una reducción de las emisiones netas del sistema de transporte (Santi, 2017).

No obstante, es probable que ante este escenario se dé una presión a la baja sobre la flexibilidad disponible:

- La distancia recorrida por los automóviles individuales podría aumentar, lo que reduciría el tiempo que estén detenidos, conectados a la red.
- La MaaS finalmente tendrá un impacto también sobre la cantidad de VE en el sistema. El aumento de las

ventas de VE se volvería más lento: suponiendo que la revolución de los VE precederá el advenimiento de un ecosistema avanzado de MaaS, los nuevos modelos de negocios en MaaS se traducirán en una presión a la baja sobre las ventas de automóviles particulares después de aproximadamente 2030, tras años de creciente expansión del mercado.

- Se pueden crear zonas de tensión en la red eléctrica local una vez que la carga se concentre en los nodos. Estos nodos pueden ser relevantes para la gestión centralizada de la flexibilidad en la noche, pero probablemente aún menores que con la propiedad individual de un automóvil, ya que la optimización del servicio de transporte apuntará al uso máximo. Las flotas de vehículos tendrán que ser dirigidas hacia una carga y un enrutamiento de la flota optimizados, contribuyendo a los objetivos de integración a la red de VE y a la optimización del uso de la energía renovable.

En la Figura 10 se resume el estado de la flexibilidad de los VE para 2030 y 2050.

Los impactos de esta tendencia tendrán una relevancia notable en las zonas urbanas (en donde se espera que viva el 60 % de la población mundial para 2030 y un 70-80 % para 2050, Demographia, 2017), debido a los grandes incrementos de la urbanización en ciudades con

alta densidad de población en economías emergentes. La adopción de la MaaS y la conducción totalmente autónoma también dependerá de la estructura de la ciudad. Fuera de las áreas urbanas, seguirá prevaleciendo el modelo de propiedad individual, y los VE aumentarán la flexibilidad en los lugares remotos.

La disponibilidad de infraestructura y la legislación habilitante tendrán un fuerte impacto sobre la velocidad de adopción de los vehículos totalmente autónomos. Por estos motivos, no se espera una penetración masiva de estos vehículos antes de la década de 2030 (y en la mayoría de los lugares quizás más tarde), aunque la tecnología confiable pueda estar disponible mucho antes.

La Figura 11 ilustra las diferentes trayectorias de evolución de la flexibilidad. Los dos tonos de azul indican dos posible escenarios de adopción de vehículos autónomos:

- En el primer escenario (marcado en azul claro), los vehículos autónomos llegan antes y la flexibilidad de los vehículos eléctricos individuales se aplana ya antes de 2040.
- En el segundo escenario (marcado en azul oscuro), los vehículos autónomos se siguen extendiendo hasta 2040, antes de caer.

Los cambios en la propiedad y el uso de los vehículos alterarán las pautas de conducción y los requisitos de carga. Los requisitos de carga seguirán determinando principalmente la flexibilidad disponible para la red.

Figura 10: Evolución de la flexibilidad de los VE para la integración de las energías renovables para 2030 y 2050

	Hoy	2030	2050
	Baja penetración	Alta penetración	Alta penetración
	Baterías pequeñas (30-60 kWh) → Baja autonomía de manejo (150-300 km)	Baterías grandes (90-200 kWh) → Alta autonomía de manejo (600-1000 km) (?)	Baterías grandes (90-200 kWh) → Alta autonomía de manejo (600-1000 km)
	Parados 90 % del tiempo	Tiempo de estacionamiento aún alto	Tiempo de estacionamiento reducido
	Carga en casa y oficina	Carga aún mayormente en casa y oficina	Nodos en suburbios de ciudades (mayormente a la noche)
	Carga inteligente en fase de prueba solamente ToU más común	Carga inteligente implementada, potencial dependiente del mercado	Carga inteligente implementada, potencial dependiente del mercado

Positivo para flexibilidad de VE Negativo para flexibilidad de VE Impacto menos positivo que en 2030

Figura 11: Perspectiva ilustrativa de la flexibilidad disponible de un único vehículo eléctrico de densidad liviana en contexto urbano

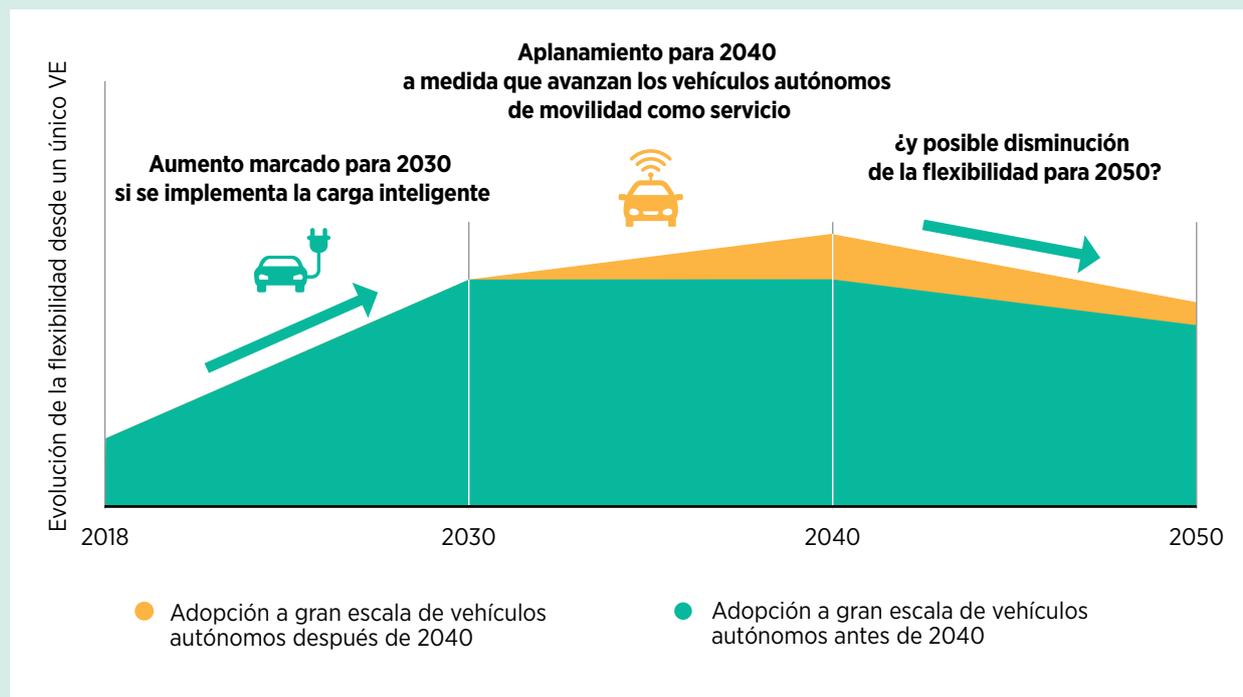


Tabla 3: Impacto de la evolución de la movilidad sobre los parámetros de flexibilidad en 2030 y 2050

	2030: VE con grandes baterías + red inteligente + propiedad individual	2050 en zonas urbanas: VE con grandes baterías + red inteligente + MaaS y vehículos autónomos
CUÁNDO: Durante el día	Parte en el día, mayormente a la noche	Mayormente a la noche
DÓNDE: Lugar de carga	Aún principalmente en casa (vecindarios residenciales) y lugar de trabajo (distritos comerciales)	Nodos en suburbios de las ciudades
QUÉ: Tecnología de carga/ nivel de potencia	Principalmente lento; recarga rápida	Lenta en nodos durante la noche; recarga rápida
QUÉ CANTIDAD: Capacidad de la batería y estado de carga deseado al salir	Mayor capacidad de la batería; no hace falta recargar por completo	Mayor capacidad de la batería; quizás sea necesario llenar más para minimizar las paradas
CUÁNTO TIEMPO: Parado	Detenido la mayor parte del día	Tiempo mínimo para carga diaria; más largo a la noche (según el tipo de servicio de transporte)



3. PERSPECTIVA DE LA CARGA INTELIGENTE

En esta sección se repasan los diferentes enfoques de la carga inteligente y el estado de la infraestructura correspondiente, y se ofrece una perspectiva basada en las lecciones aprendidas de los proyectos piloto e investigaciones en el campo.

3.1 Impacto de la carga de VE

Impacto sobre la capacidad y la demanda de electricidad

Si los VE se cargaran en simultáneo de manera descontrolada, podrían aumentar el pico de demanda en la red, contribuyendo a la sobrecarga y a la necesidad de actualizaciones a nivel de distribución. La carga extra incluso puede originar la necesidad de actualizaciones en la capacidad de generación (o al menos un perfil de costo de producción alterado). El grado de impacto posible dependería del parque de energía del sistema eléctrico, la tipología de la red y la penetración de los VE, tal como han demostrado diversos ensayos y estudios realizados globalmente.

Los estudios convergen en tres conclusiones principales sobre los impactos de los VE en el sistema eléctrico y la manera en que pueden mitigarse.

1. El impacto sobre la demanda eléctrica será limitado:
 - En un escenario de 100 % de movilidad eléctrica para Europa, las necesidades de energía para los VE podrían representar no más del 10 % al 15 % de la producción total de electricidad. Sin embargo, la integración de la red de VE podría crear problemas eléctricos locales con volúmenes de VE en aumento (Eurelectric, 2015).
 - Si los 2,7 millones de automóviles de Noruega fueran VE, utilizarían solo el 5-6 % de la producción anual de energía hidroeléctrica del país (BoA/ML, 2018a).
 - En un escenario de movilidad eléctrica del 25 % para Alemania, 10 millones de VE para 2035 se traducirían en un aumento del consumo general de solo el 2,5-3 % (Schucht, 2017).
 - Si todos los vehículos ligeros de los EE. UU. fueran eléctricos, habrían representado alrededor del 24 % de la demanda total de electricidad en el país en 2016 tal como se muestra en la sección 2.3.

2. El impacto sobre el pico de demanda, sin embargo, puede ser mucho mayor si la demanda adicional no se distribuye de manera inteligente. Para esto, la carga inteligente es clave:

- En un escenario de 10 millones de VE para el Reino Unido en 2035, el pico de demanda al atardecer aumenta 3 GW si la carga no está controlada, pero aumenta solo 0,5 GW si es inteligente. Con la carga inteligente de los VE, los periodos de precios más bajos podrían ver un aumento de la demanda de 7GW (AER, 2018).
- Los modelos de VE en Nueva Inglaterra mostraron que una participación del 25 % de VE en el sistema cargados de manera descontrolada aumentaría el pico de demanda en un 19%, lo que requeriría una inversión importante en capacidades de red y de generación. Sin embargo, si se reparte la carga en las horas del atardecer, el aumento del pico de demanda podría reducirse a entre el 0 % y el 6%. Y la carga exclusiva en horas que no sean pico podría evitar cualquier aumento del pico de demanda (RMI, 2016).

3. El impacto en las redes de distribución local podría ser significativo también si no se gestiona con carga inteligente:

- Xcel Energy, de Colorado en los EE. UU., demostró que el 4 % de los transformadores de distribución podrían verse sobrecargados con un 5 % de penetración en el mercado de VE, si la carga estuviera alineada con los horarios de carga pico (Xcel Energy, 2015).
- El Proyecto My Electric Avenue en el Reino Unido identificó la necesidad de un 32 % de mejoras en los circuitos de producción con una participación del 40-70 % de automóviles eléctricos (EA Technology, 2016).
- En Alemania, la carga «tonta» de los VE por debajo de 10 millones de unidades para 2035 conduciría a un aumento del 50 % de los costos de la red de baja tensión y de los transformadores, mientras que la optimización de la amortiguación de los mediante la carga inteligente evitaría estas inversiones (Schucht, 2017).

Impacto en la infraestructura de la red

La carga de VE tendrá un impacto sobre las inversiones en la red de distribución. El alcance de las inversiones en la red (en términos de cables y transformadores)

necesarias en un determinado lugar dependerá como mínimo de los siguientes parámetros:

- **Congestión:** al igual que en la red de distribución local antes del despliegue de los VE.
- **Factor de simultaneidad:** aplicado en base al tamaño de cada red de distribución. El factor/coeficiente de simultaneidad mide la probabilidad de que un determinado equipo deba ser encendido al mismo tiempo que otro. Cada operador de sistemas de distribución considera un factor de simultaneidad diferente.
- **Características de carga:** por ejemplo, el impacto de la carga descontrolada de VE será mayor en lugares con una alta proporción de calefacción eléctrica (lo que lleva a un mayor refuerzo de la red). Pero si se utiliza la carga inteligente en estos lugares, puede ser incluida con menos refuerzos de la red que en los lugares en los que no se usa la calefacción eléctrica, ya que las redes locales están dimensionadas para picos más altos.
- **Activos de generación conectados a nivel de baja tensión:** por ejemplo, la integración de altas proporciones de energía solar FV conectada a nivel de baja tensión (*por ej.*, en Alemania) podría facilitarse con una carga inteligente, mientras que en lugares con ninguna o muy baja proporción de energía solar FV, los VE podrían aumentar la presión sobre las redes locales.
- **Límites del código a la red y otros reglamentos:** por ejemplo, los códigos de la red nacional definen las restricciones físicas en términos de variaciones de tensión y frecuencia que los operadores del sistema deben respetar, e inversiones en refuerzo de la red si se superan estos límites específicos del país debido a la carga de VE.

El estudio del caso de la ciudad de Hamburgo, Alemania en el Recuadro 4 cuantifica el impacto de los VE en cuanto a los posibles cuellos de botella y describe la estrategia del operador del sistema de distribución para abordarlos.

La carga rápida es un desafío para el desarrollo de la infraestructura de la red. Cuánto más alta es la potencia,

más capacidad se necesita de la red de distribución. Además, la estación/cables de carga locales y el vehículo deben admitir esta potencia. Estas dos cosas son tecnológicamente factibles pero tienen un precio:

- Los vehículos requieren componentes electrónicos y dispositivos de protección más costosos.
- La conexión a la red de las estaciones de carga rápida exige cables y transformadores más grandes.
- Estas estaciones de carga requieren más componentes electrónicos y refrigeración así como dispositivos de refrigeración.
- Se necesita una refrigeración activa del cable de carga si se quieren evitar los cables muy pesados. El aumento de la tensión con respecto al nivel actual mitigará la necesidad de un cable más pesado o de una refrigeración activa, pero no es una solución óptima si se considera la interoperabilidad con la infraestructura existente (y con los VE existentes). Durante la transición, los automóviles pueden implementar ambas tecnologías para la compatibilidad. Por ejemplo, Porsche está trabajando en un modelo Taycan de 800 V de capacidad que es compatible hacia abajo con las estaciones de carga de 400 V desplegadas actualmente (Porsche, 2016).
- Finalmente, la potencia de carga de los VE no solo está relacionada con las necesidades de los usuarios individuales. Por ejemplo, las estaciones de carga en las autopistas implementan varios puntos de carga cuya demanda de potencia aumentará ante el mayor volumen de VE.

La Tabla 4 ofrece un ejemplo indicativo de una estación de carga en una autopista, en comparación con una estación de gasolina clásica. Una capacidad de 6 MW sería un buen orden de magnitud para una estación en una autopista con 30 puntos de carga, a mediano plazo. Esta es la potencial nominal de un molino de viento grande en la actualidad. Además, 6 MW es también la potencia que necesitaría un automóvil eléctrico para cargar energía a la misma velocidad que un automóvil con MCI convencional (*por ejemplo*, en general 100 km se cargan en 15 segundos).⁴ Esto no es viable económicamente ni realista con las tecnologías de baterías actuales y a mediano plazo. Además, esta necesidad teórica se vería contrarrestada en la práctica por la disminución del consumo de nuevos modelos de VE.

⁴ Un litro de diésel es alrededor de 10 kWh. Eso significa que para un tanque de automóvil de 50 litros, se necesitan 500 kWh. Si el tiempo de carga debe ser equivalente a llenar un tanque (unos cinco minutos), esto equivale a unos 6 MW (500*12). Una curva de carga no mantiene la potencia constante: al final del ciclo, la potencia disminuye. Por lo tanto, un cierto nivel de potencia media (como 4,8 MW) requiere un nivel más alto (como 6 MW) al comienzo del ciclo de carga.

Recuadro 4: IMPACTO DE LA CARGA DE VE EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE HAMBURGO

Hamburgo es actualmente la ciudad con el mayor número de puntos de carga en Alemania (varios cientos de puntos de carga en hogares y 810 puntos de carga públicos a noviembre de 2018). La ciudad esperaba instalar 1000 puntos de carga públicos para principios de 2019. La electrificación de los autobuses públicos y el crecimiento de los vehículos eléctricos son los impulsores más importantes del desarrollo de la carga en la ciudad. La mayoría de los VE estarán en los suburbios donde, en el caso de Hamburgo, la red es más débil (Pfarrherr, 2018).

El operador del sistema de distribución local, Stromnetz Hamburg, realizó un análisis del desarrollo de la carga para identificar situaciones críticas para la carga descontrolada de los VE con cargas de punto de carga de 11 kW y 22 kW. Un 9 % de los VE, correspondiente a la carga de 60 000 VE en la infraestructura privada, causará cuellos de botella en el 15 % de los alimentadores de la red de distribución de la ciudad (Pfarrherr, 2018).

Para evitar estas situaciones críticas, Stromnetz Hamburg evaluó que las necesidades de inversión para reforzar las redes locales alcanzarían al menos 20 millones de euros, y también está explorando soluciones alternativas para abordar el problema. La clave es disminuir la simultaneidad, es decir, disminuir el número de VE que se cargan al mismo tiempo en la misma red local. Con ese fin, se está probando una solución inteligente que utiliza tecnologías digitales, que incluye un sistema de comunicación en tiempo real que permite al operador del sistema de distribución reducir la carga de los puntos de carga necesarios para resolver el problema. Los puntos de carga de 11 kW, por ejemplo, pueden reducir su carga de 16 amperios (A) a 8 A, lo que permite que los VE se carguen pero en un período más largo.

Para este proyecto, Stromnetz Hamburg se asoció con Siemens, que instalará 30 unidades de control y monitoreará las cargas de la infraestructura de carga privada. Esto les ayudará a anticiparse a los problemas de congestión y a planificar la red en base a los perfiles de carga. El costo estimado de esta solución es de alrededor de 2 millones de euros, que es solo el 10 % del costo de reforzar los cables en una solución convencional.

El caso de Hamburgo muestra no solo el impacto que los VE pueden tener sobre las redes locales, sino también las soluciones potenciales para hacerle frente que pueden requerir una combinación de tecnologías digitales, nuevos modelos de negocios y reglamentación del mercado para involucrar a todos los actores necesarios. (Ver también la Sección 6.2)

Tabla 4: Comparación de estación de carga en autopista con estación de combustible clásica

Estación de servicio en autopista, automóviles convencionales	Estación de servicio en autopista, automóviles eléctricos
2 minutos para 1 ciclo de carga	20 minutos para 1 ciclo de carga
800 km en el tanque por ciclo	400 km cargados por ciclo
Por ej., 30 puntos de llenado de tanque	30 puntos de carga ¹ = 6 MW

¹ Podría ser mucho más para tener en cuenta el mayor tiempo necesario para la carga, pero contrarrestado por los limitados volúmenes de los VE

3.2 Carga inteligente

Rol de la carga inteligente

Servicios provistos por VE cargados inteligentemente

La carga inteligente utilizando tecnologías de integración vehículo-red (VGI) es un medio para gestionar las cargas de VE. Esto se logra ya sea por medio de la respuesta de los clientes a las señales de precios, por la respuesta automatizada de la EVSE a las señales de control que reaccionan a las situaciones de la red y del mercado o por una combinación de ambas respetando las necesidades de los clientes en cuanto a la disponibilidad de vehículos. Consiste en desplazar algunos ciclos de carga en el tiempo o modular la potencia en función de las limitaciones (*por ejemplo*, la capacidad de conexión, las necesidades de los usuarios, la producción local de energía en tiempo real). La carga inteligente es, por lo tanto, una manera de optimizar el proceso de carga en función de las restricciones de la red de distribución y la disponibilidad de energía renovable local, así como de las preferencias de los conductores y los anfitriones de los sitios de EVSE.

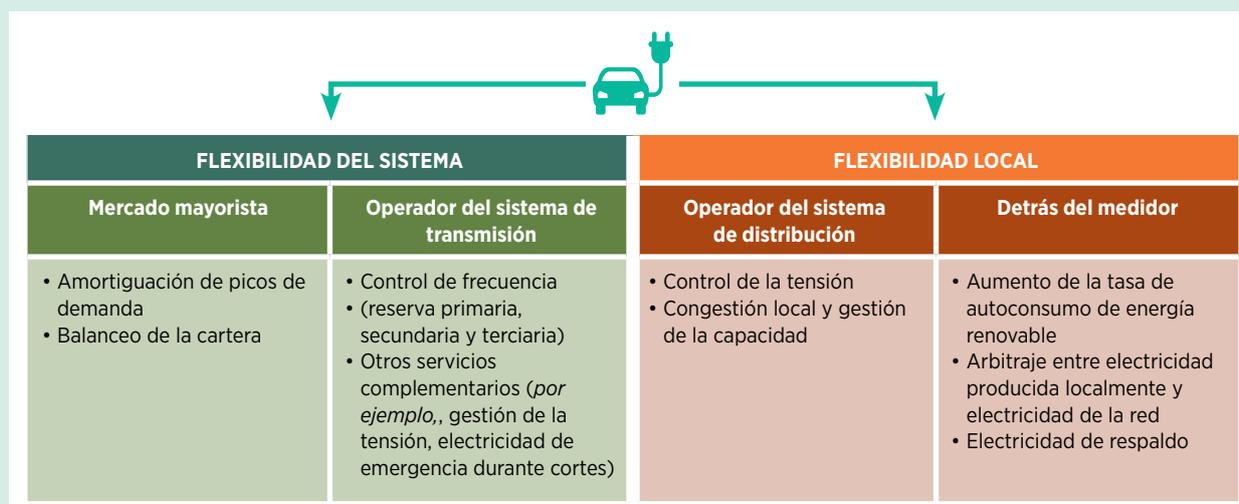
Si se cargan de manera inteligente, los VE no solo pueden evitar agregar presión a la red local sino que también pueden prestar servicios para llenar vacíos de flexibilidad tanto a nivel local como a nivel del sistema (Figura 12). Los VE (des)cargados de manera inteligente

podrían ayudar a reducir el vertido de ERV, mejorar el consumo local de la producción de ERV y evitar la inversión en la capacidad de generación pico, así como mitigar las necesidades de refuerzo de la red. Los VE pueden operar como unidades de almacenamiento conectadas a la red con el potencial de brindar una amplia gama de servicios al sistema. Podrían alternar sus patrones de carga para aplanar el pico de demanda, llenar los momentos de baja demanda y respaldar el equilibrio en tiempo real de las redes mediante el ajuste de sus niveles de carga. Los modelos cuantitativos de sistemas aislados basados en ERV, tema principal de la Sección 6, ilustran el posible rango de sinergias en más detalle. La sección también incluye estudios de casos ilustrativos de mitigación de los impactos en la red de distribución local.

La carga inteligente no solo mitiga los picos de demanda causados por los VE sino que también aplanar la curva de carga para lograr una mejor integración de la ERV tanto a nivel de sistema como localmente, en escalas de tiempo a corto plazo. Más específicamente, el ajuste de los patrones de carga que hoy en día permanecen inactivos en el estacionamiento la mayor parte del tiempo (90-95 % del tiempo para la mayoría de los automóviles) podría contribuir a:

- *Amortiguación de picos* (nivel de sistema/mayorista): aplanar el pico de demanda y llenar el «valle» de demanda incentivando la carga a última hora de la mañana/tarde en sistemas con gran penetración de carga solar y nocturna que podrían ajustarse tras la producción

Figura 12: Posible gama de servicios de flexibilidad por VE



Los VE pueden contribuir a descarbonizar el sector del transporte al tiempo que facilitan la integración de las ERV. Si la carga de los VE se ajusta de manera que siga la disponibilidad de las fuentes de energía renovable, se necesitará menos flexibilidad de las centrales eléctricas convencionales.

de viento nocturno, ya que los automóviles están estacionados durante más tiempo de que necesitan para cargarse completamente. De esta manera, la carga a primeras horas de la noche que de otro modo podría aumentar el pico de demanda se aplazaría.

- *servicios complementarios* (niveles de sistema y local / operadores de sistema de transmisión y distribución): apoyo al equilibrio en tiempo real de las redes mediante el ajuste de los niveles de carga de VE para mantener una tensión y una frecuencia constantes. Si bien la flexibilidad ha sido bien desarrollada a nivel del sistema por los operadores de los sistemas de transmisión, los operadores de los sistemas de distribución en su mayoría no están equipados aún con la flexibilidad de los recursos energéticos distribuidos para operar sus redes, a pesar del alto número de proyectos de demostración que se han realizado y de los intensos debates sobre la reglamentación en varios países (principalmente en Europa y los EE. UU.).
- Optimización *detrás del medidor* y «*potencia de respaldo*» (nivel local / consumidores y prosumidores): esto incluye el aumento del autoconsumo de electricidad renovable producida localmente, así como la reducción de la dependencia de la red eléctrica y la reducción de la factura de energía mediante la compra de electricidad barata de la red en las horas de menor consumo y su utilización para el suministro al hogar cuando la tarifa de electricidad es más elevada (durante las primeras horas de la noche).

Los servicios concretos controlados por los operadores de la red se indican en el Anexo 2.

Capacidades de las baterías para prestar servicios de red

La capacidad de la batería y las características técnicas de los VE determinan el grado de integración de la energía renovable en los automóviles. En la actualidad, la mayoría de los VE dependen de algún tipo de batería de ion de litio. La reducción de costos, junto con las mejoras en el rendimiento de la batería y la idoneidad para aplicaciones de red, hacen que esta tecnología sea una elección que vale la pena.

La capacidad de las baterías de los VE para proporcionar servicios de red específicos es clave en este contexto, dejando de lado su impacto en el rendimiento del vehículo. La capacidad de ofrecer servicios de red y las tecnologías correspondientes dependerá de la aplicación considerada.

Términos técnicos claves para clasificar las tecnologías de las baterías:

- **Fin de la vida útil (EoL, en inglés):** momento en el que la batería retiene solo una fracción (normalmente el 70%) de su capacidad inicial. Se expresa como un porcentaje de la capacidad inicial.
- **Profundidad de descarga (DoD):** el porcentaje (comparado con la capacidad total) al que la batería puede ser descargada.
- **Estado de carga (SoC):** la capacidad de la batería expresada como porcentaje de la capacidad total de la batería durante la carga de uso.
- **Tasa C :** tasa de carga o descarga. 1C se refiere a una carga o descarga en 1 hora, 2C se refiere a 2 horas, y 0,5C se refiere a 30 minutos.

Por ejemplo, para equilibrar las energías renovables, es necesario que exista una gran tolerancia a la profundidad de descarga, es decir, la medida en que la batería puede descargarse. Es posible que se necesiten trescientos ciclos completos por año si la batería se va a utilizar para apoyar el balance de todo el sistema o la absorción del exceso de energía renovable en la batería detrás del medidor. En el caso de los servicios complementarios, se requiere una menor profundidad de descarga. Debido a que las baterías deben ser capaces de inyectar potencia (cuando la frecuencia es muy baja) y de consumir potencia (cuando la frecuencia es muy alta), el estado de carga ideal en espera es de aproximadamente el 50%, lo cual significa que las baterías seleccionadas deberían ser capaces de funcionar en estados de carga más bajos.

En la actualidad, la tecnología que prevalece entre las baterías de VE es la de ion de litio (Li-ion). La comparación de diferentes baterías utilizadas en la movilidad con otras baterías estáticas en la Tabla 5 demuestra que la de Li-ion puede competir con otras tecnologías usadas para el almacenamiento estático tal como las de plomo ácido y flujo redox (IRENA, 2017b). Hoy en día, la de tecnología de Li-ion sigue siendo la más madura para una amplia gama de servicios de red, tal como se detalla en el Anexo 2.

La degradación de la batería causada por la creciente cantidad de ciclos de carga/descarga es un tema largamente debatido con respecto a la V2G y el intercambio de baterías. La degradación de las baterías se ve afectada principalmente por la corriente de descarga, la profundidad de descarga y la temperatura de operación (Taibi y Fernández, 2017). Sin embargo, pruebas recientes han demostrado que la

degradación de la batería con V2G es limitada si la batería permanece en un estado de carga de alrededor del 60-80%. El impacto es similar al de la carga normal con CA.

El modelo de degradación de la batería de la Universidad de Warwick, que predice la disminución de la capacidad y la potencia con el tiempo, demostró que con un sistema V2G, la vida de la batería puede extenderse usando perfiles que son amigables con el V2G.

Los algoritmos de «red inteligente» desarrollados dentro de este proyecto permiten a los conductores monitorear cuánta energía se puede tomar de la batería del vehículo sin afectarla negativamente, o incluso mejorar su longevidad (Smart Cities Connect, 2017).

El hecho de que los fabricantes de vehículos (OEM) con la funcionalidad de vehículo a todo (V2X) mantengan la garantía de su batería para los vehículos de carga rápida o V2X es un testimonio de la confianza adquirida a lo largo de varios años de experiencia en el mercado. Esto ha sido confirmado por un año de pruebas intensivas en ENGIE Laborelec que mostraron que no había ningún impacto visible de la V2X en el envejecimiento de la batería (De Vroey, 2016).

Sin embargo, los proveedores de baterías en la actualidad suelen mencionar el mercado global para su tecnología -como movilidad o estático- y algunos indican una aplicación específica. Es difícil determinar la adecuación de una tecnología para una aplicación determinada sin hacer pruebas.

Tabla 5: Comparación de baterías para movilidad con otras baterías

Aplicación		Almacenamiento renovable	servicios complementarios		Respaldo		
Aceptación de batería		Alta DoD	50 %SoC + Baja DoD		Baja Tasa C	+ Larga espera con SoC alto	+ 70 %DoD
Li-ion*	 NCA	✓	✓	✓	✓	✗	✓
	 NMC	✓	✓	✓	✓	✗	✓
	 LFP	✓	✓	✓	✓	✗	✓
	LTO	✓	✓	✓	✓	✗	✓
Plomo Ácido		✗	✓	✓	✓	✓	✓
Flujo Redox		✓	✓	✓	✓	✗	✓
 LMP*		✗	✗	✗	✓	✗	✓
 ZEBRA**		✗	✗	✗	✓	✗	✗

* Diferentes composiciones químicas de las baterías de litio: Óxido de litio níquel cobalto aluminio (NCA), litio níquel manganeso cobalto (NMC), fosfato de hierro litio (LFP), óxido de titanato de litio (LTO).

* Batería de polímero de litio metálico y Zeolite Battery Research Africa (ZEBRA): Esas tecnologías podrían utilizarse teóricamente para servicios complementarios, pero no pueden utilizarse en la práctica debido a la alta temperatura de trabajo

Nota: DoD (Profundidad de descarga), SoC (Estado de carga), Tasa C (Tasa de carga o descarga)

Si bien el ion de litio es actualmente la tecnología más adecuada para las aplicaciones de la red eléctrica, la evolución de las tecnologías de baterías alternativas impulsada por las demandas de los fabricantes de vehículos, así como los problemas con el litio, podrían afectar sustancialmente la capacidad de las baterías de los vehículos eléctricos de proporcionar servicios de red eléctrica. Sería necesario superar una serie de problemas técnicos para mantener las capacidades relacionadas con la red eléctrica con estas tecnologías.

Por ejemplo, aunque se dice que la química del polímero de litio metálico (LMP) solo se utiliza hoy en día para la movilidad, algunos proveedores abren el mercado a las aplicaciones estáticas, aunque parezca poco razonable debido a la alta temperatura necesaria para su funcionamiento. Por lo tanto, los usos de las tecnologías de baterías para movilidad y para las aplicaciones a escala de servicios públicos podría ser diferente en el futuro.

Tipos de carga inteligente y su implementación

La carga inteligente incluye diferentes opciones de precios y técnicas para la carga. Las opciones técnicas básicas se resumen en la Figura 13 y las opciones completas, en la Tabla 6 junto con sus usos posibles y nivel de madurez.

La forma más simple de incentivo – *precio por tiempo de uso* – alienta a los consumidores a aplazar su carga de los períodos de demanda pico a los de mínima demanda. Su implementación tiene requerimientos técnicos relativamente bajos (medidor inteligente integrado en el VE o EVSE), y resulta ser relativamente eficaz para retrasar la carga del VE hasta las horas de menor consumo con bajos niveles de penetración de VE (ICCT, 2017a). Sin embargo, las estructuras simples de precios de la electricidad, que varían con el tiempo pueden crear pronunciados picos de rebote en la demanda residencial total (Muratory y Rizzoni, 2016).

Será necesario contar con mecanismos de control directo posibilitados por el VE y el punto de carga como solución a largo plazo a niveles de mayor penetración y para entregar un equilibrio casi en tiempo real y servicios complementarios. Estos mecanismos van desde el encendido y apagado básicos de la carga o *el control unidireccional de los vehículos o EVSE (también llamado V1G)* que permite el aumento o la reducción de la velocidad de carga, hasta el más desafiante *vehículo a todo bidireccional (V2X)*.

Para el V2X, hay dos configuraciones específicas que son particularmente relevantes⁵.

- El vehículo al hogar (V2H) o el vehículo a edificio (V2B) por lo general no afectan directamente el desempeño de la red. El VE se usa como suministro de energía de reserva residencial durante periodos de interrupción del suministro eléctrico o para un aumento del autoconsumo de la energía producida en el sitio (evitar el cargo por demanda).
- Vehículo a la red (V2G) se refiere a la prestación de servicios de red en el modo de descarga. La empresa de servicios públicos/el operador del sistema de transmisión pueden desear comprar la energía de los clientes durante periodos de pico de demanda, o utilizar la capacidad de la batería del VE para brindar servicios complementarios, tales como el equilibrio y el control de la frecuencia, incluida la regulación de la frecuencia primaria y la reserva secundaria.

Figura 13: Formas de carga inteligente



⁵ También puede haber V2Tool / V2Load, en donde la batería del VE alimenta directamente una carga adyacente (sin que haya ninguna red/sistema de energía involucrado).

La diferencia entre V1G unidireccional y V2G bidireccional se ilustra en la Figura 14. En V1G, el conductor, el anfitrión del sitio de carga del VE o el agregador pueden ser recompensados solo por ajustar su tarifa de cargar hacia arriba o hacia abajo en comparación con la potencia de carga inicial (se asumen 3 kW para la ilustración). En V2G, los VE pueden cargar y descargar electricidad desde y hacia la red, respectivamente. El tamaño de las «ofertas» por los servicios de la red corresponde a las capacidades del VE y a los requerimientos del mercado en cuestión.

Estos enfoques pueden combinarse, por ejemplo, pueden desplegarse tarifas por tiempo de uso con automatización V1G para lograr una respuesta más eficaz. Algunas de las nuevas estaciones de carga están equipadas con V1G y V2G (Virta, 2017).

A diferencia de las soluciones V1G más maduras, la V2X aún no ha alcanzado el despliegue en el mercado, con excepción de Japón en donde las soluciones V2H comerciales han estado disponibles desde 2012 como soluciones de respaldo en caso de apagón (después de la tragedia de Fukushima).

En los EE. UU., las soluciones precomerciales existen como apoyo a la red en lugares con una infraestructura eléctrica débil. En Europa, se están llevando a cabo varios proyectos piloto, motivados principalmente por la gestión local de la energía, por ejemplo en Dinamarca, Alemania, los Países Bajos (Ámsterdam) y España (Málaga). Desde comienzos de 2019 varios fabricantes de automóviles (*por ejemplo*, Nissan, Mitsubishi, Toyota, BYD, Renault) participaron activamente en iniciativas de V2X, tal como se detalla en la siguiente subsección.

Figura 14: Ejemplo de provisión de servicios de red unidireccionales (V1G) y bidireccionales (V2G)

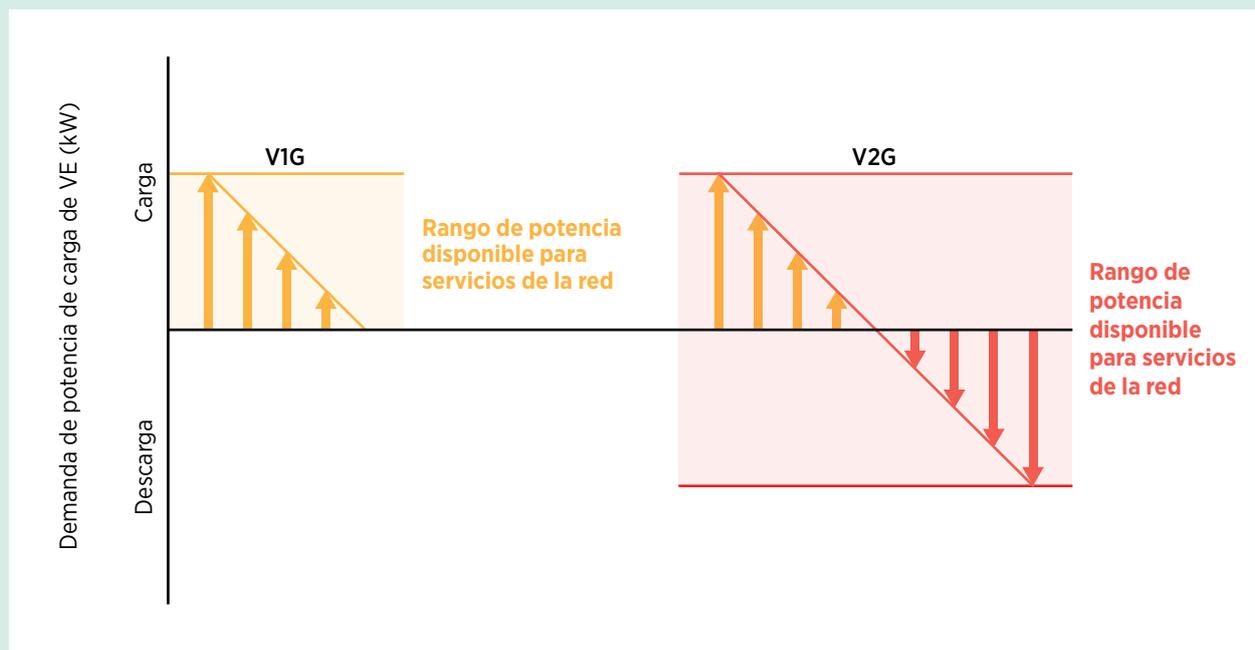


Tabla 6: Tipos de carga inteligente

Tipo de aplicación	Control inteligente sobre la potencia de carga	Usos posibles	Madurez
Descontrolada pero con tarifas por tiempo de uso	Ninguno	Amortiguación de picos de demanda con respuesta de demanda implícita; manejo de capacidad de la red a largo plazo (operadores de sistemas de transmisión y distribución)	Alta (basada solo en cambios en el comportamiento de carga)
Control básico	Encendido/apagado	Manejo de la congestión de la red	Alta (despliegue parcial en mercado)
Control unidireccional (V1G)	Aumento y disminución en tiempo real de la tasa de carga	Servicios, control de frecuencia	Alta (despliegue parcial en mercado)
Bidireccional vehículo a la red (V2G) y vehículo-red (G2V)	Reacción instantánea a las condiciones de la red; requiere ajustes de hardware en la mayoría de los vehículos y EVSE	Servicios complementarios como control de frecuencia y control de tensión, seguimiento de la carga e integración de corta duración de la energía renovable	Medio (pruebas avanzadas)
Bidireccional vehículo a X (por ej., V2H/V2B)	Integración entre V2G y los sistemas de gestión de viviendas y edificios	Optimización de microrred	Medio (pruebas avanzadas)
Fijación dinámica de precio con VE (controlada)	Medidores incorporados al EVSE y comunicación cercana al tiempo real entre el vehículo, el EVSE y la red	Seguimiento de la carga e integración de corta duración de la energía renovable	Bajo

Los VE (des)cargados de manera inteligente pueden ayudar a reducir el vertido de ERV y las emisiones, a mejorar el consumo local de la producción de ERV y evitar la inversión en la capacidad de generación pico, y mitigar las necesidades de refuerzo de la red.

Proyectos de carga inteligente actuales

El siguiente análisis se basa en resultados de proyectos piloto de carga inteligente relevantes desplegados en todo el mundo (Tabla 7). En su mayoría se basan en carga lenta.

Tarifas por tiempo de uso

La mayor experiencia es con la carga por tiempo de uso dedicada a los VE. Demuestra que cuanto mayor es la diferencia de precio entre el pico de demanda y el valle, más efectivo es el diseño de la tarifa. La configuración de la hora de pico de demanda y la de demanda mínima (o incluso «supermínima») corresponde a las características del sistema de electricidad local.

La Figura 15 presenta un ejemplo de las tarifas de Pacific Gas & Electric (PG&E) en California (una región con

participación limitada de energía solar FV) en la que el pico de demanda ocurre temprano por la tarde debido al alto uso del aire acondicionado, que puede cambiar en el futuro cuando aumente la penetración de la energía solar FV.

En la mayoría de los casos, los conductores pueden preestablecer la carga para las horas de menor consumo a través de una aplicación o del sistema de a bordo del vehículo. Los clientes tienen un medidor único para la carga doméstica y del VE o un medidor doble. La medición doble –es decir, que permite distinguir el consumo del VE del resto del consumo (al tener un medidor para el enchufe del VE y uno para el resto del consumo)– ha demostrado ser más exitosa en términos de impacto en el comportamiento de carga de los clientes (RMI, 2016).

En el mercado existen métodos alternativos que pueden facilitar la implementación de tarifas específicas para los

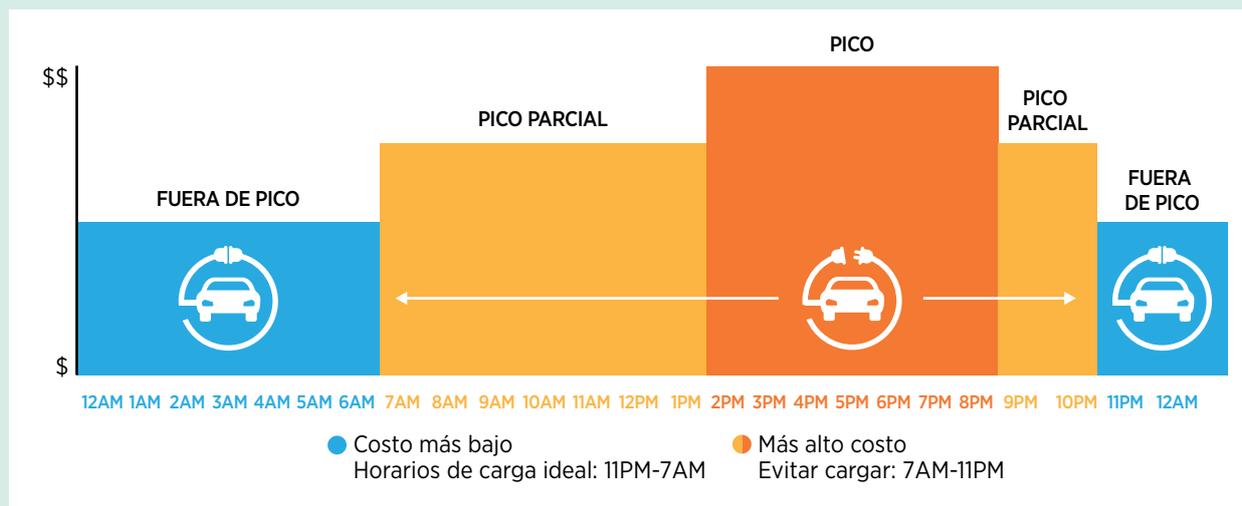
Tabla 7: Resumen de despliegue de la carga inteligente y de proyectos piloto

Tipo de carga	Ejemplos de proyectos
Tarifas por tiempo de uso descontrolada	China, Alemania, Japón, Reino Unido, EE. UU.
Control básico	<p>My Electric Avenue, Scottish and Southern Energy Power Distribution y liderado por EA Technology, Reino Unido(100 hogares están probando el sistema Esprit)</p> <ul style="list-style-type: none"> · Pepco, Maryland, US: 200 hogares · Consolidated Edison, New York, EE. UU.: incentivo fuera de la factura para la carga gestionada · Xcel Energy, Minnesota, EE. UU.: 100 hogares <p>United Energy – Victoria, Australia (2013)</p>
Control unidireccional (V1G)	<p>Green eMotion, proyecto UE (2015): reducción del costo de refuerzo de la red en un 50 %</p> <p>Sacramento Municipal Utility, California, EE, UU.: reducción de gasto de mejora de la red de más del 70 %</p>
Bidireccional Vehículo a la red (V2G)	<p>Proyecto de eVgo y la Universidad de Delaware en EE. UU. Con el operador del sistema de transmisión PJM, liderado por Nuvve; Interconnection – operación comercial</p> <p>Nuvve, Nissan, Enel, en Inglaterra y Gales con operador del sistema de transmisión National Grid - operación precomercial</p> <p>Proyecto de Nuvve, DTU, Nissan, PSA, Enel en Denmark, con operador del sistema de transmisión energinet.dk (“Parker Project”) – ensayo de operación</p> <p>Proyecto de Nuvve, NewMotion, Mitsubishi en los Países Bajos, con operador del sistema de transmisión TenneT – ensayo comercial</p> <p>Proyecto de Jeju, República de Corea que desarrolla V2G rápida y lenta; proyecto urbano de Toyota con 3100 VE</p> <p>Proyecto de Renault, ElaadNy y Lombo Xnet en Utrecht, Países Bajos – AC V2G</p>
Bidireccional vehículo a X (por ej., V2H)	<p>ElaadNL y Renault en Utrecht, Países Bajos: 1000 estaciones de carga inteligentes públicas alimentadas con energía solar con almacenamiento de baterías en toda la región en la mayor demostración de carga inteligente hasta la fecha. El aumento del autoconsumo del 49 % al 62-87 % y disminución en el pico del 27-67 %</p> <p>DENSO y Toyota V2H inteligente (modelo integrado HEMS y V2G), Nissan (V2H) - todo Japón (7000 hogares, operación comercial)</p>
Fijación dinámica de precio con VE (controlada)	<p>Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk Nett en Noruega</p> <p>San Diego Gas & Electric en California: precios de prueba anunciados con un día de antelación</p>
Batería de segunda vida	Programa piloto de BMWi y PG&E ChargeForward en California

Basada en proyecto y sitios web de empresas



Figura 15: Ejemplo de carga por tiempo de uso



Fuente: PG&E, 2018.

VE sin añadir el costo de los medidores de servicios secundarios. La Comisión de Servicios Públicos de Minnesota permitió a Xcel Energy llevar a cabo un proyecto piloto que tiene como objetivo reducir la carga del costo inicial para los clientes que buscan optar por las tarifas de los VE, implementando la tarifa directamente con un «medidor incorporado» en los EVSE (Nhedde, 2018).

VIG y fijación dinámica del precio

A medida que la penetración de los ERV y los VE aumenta, se necesitarán señales de mercado apropiadas para incentivar las cargas, incluidos los VE, para ajustar sus patrones de consumo. La VIG puede combinarse con una fijación de precios dinámica (precios que reflejen el costo de la energía en tiempo real y la red en intervalos de tiempo cada hora o incluso más breves) apoyada por soluciones automatizadas del lado del consumidor.

Si bien, por ejemplo, en los Países Bajos la mayoría de las estaciones de carga ya tiene capacidad VIG, en otros países aún no es algo común. En San Diego se presentó un programa piloto que combina el la VGI y la fijación de precios dinámica, tal como se describe en el Recuadro 5.

Experiencia de carga V2X

Al igual que con la fijación dinámica de precios, la experiencia con al V2X se limita mayormente a despliegues precomerciales. En el Recuadro 6 se brinda un ejemplo de los avances en V2G.

Una excepción es Japón, en donde Nissan llevó al mercado un kit que es compatible con el LEAF y es capaz de brindar

energía de reserva para un hogar japonés utilizando la tecnología CHAdeMO, el único estándar internacional que admite V2X. Como CHAdeMO ha estandarizado el protocolo V2X, múltiples fabricantes de sistemas y fabricantes de equipos originales siguieron el ejemplo, y hasta la fecha se han vendido unas 7000 unidades de estos sistemas V2H basados en el protocolo CHAdeMO. Teniendo en cuenta el consumo doméstico promedio por día en Japón de 12 kWh (Briones *et al*, 2012), la capacidad de la batería de 40 kWh de LEAF podría brindar más de tres días de energía.

En la mayoría de las aplicaciones se considera que la V2G tiene un valor comercial superior a la V2B o V2H (Kempton, 2016). Además de ofrecer servicios complementarios y energía de reserva (Figura 16), puede utilizarse para amortiguar los picos de demanda. Si los VE pudieran cargarse durante las horas de menor consumo y luego descargarse selectivamente para «reducir el pico», la empresa de servicios públicos podría abstenerse potencialmente de arrancar una planta para picos de demanda y construir capacidad de pico adicional (Figura 17) (Weiller y Sioshansi, 2016).

La V2G es particularmente relevante para la carga lenta en áreas con una alta concentración de VE, como grandes estacionamientos.

Para proporcionar servicios de flexibilidad, suele ser necesario agregar la flexibilidad de los VE individuales. Para que la provisión de servicios de los VE sea viable en el mercado mayorista (amortiguación de picos y servicios complementarios), deberían comercializarse en cada transacción de V2G capacidades de al menos 1

Recuadro 5: PILOTO DE INTEGRACIÓN A LA RED DE VEHÍCULOS DE SAN DIEGO GAS & ELECTRIC

San Diego Gas & Electric (SDG&E) lanzó un proyecto piloto de VGI que prueba la puesta a disposición de flotas de VE como recursos energéticos distribuidos despachables para mejorar la estabilidad de la red. SDG&E instalará y operará 3500 estaciones de carga en toda la región de San Diego, principalmente estaciones de carga de nivel 2 (lento), con una gran parte en viviendas multifamiliares.

El programa explora la fijación dinámica de precios y, a través de una aplicación, incentiva las actividades de carga en momentos de alta energía renovable (Turpen, 2016). Las tarifas horarias dinámicas se publican con un día de antelación y reflejan tanto el sistema como las condiciones de la red local. Una aplicación hace coincidir la preferencia del cliente con esos precios. Para un tiempo de uso simple, se registraron mayores efectos para los clientes con medidores separados exclusivos para VE (RMI, 2016).

Recuadro 6: NUVVE, EL PIONERO DEL VEHÍCULO A LA RED

Uno de los actores más avanzados en el área de V2G es Nuvve, que ahora está comercializando la tecnología que fue descrita por primera vez en 1996 y desarrollada por el Profesor W. Kempton de la Universidad de Delaware. Nuvve afirma tener la única tecnología de baterías de VE que permite a cualquier batería de VE generar, almacenar y revender la energía no utilizada a la red eléctrica local.

Desde los primeros experimentos realizados en 2005, la empresa dispone ahora de una solución a prueba de futuro, lista para ser ampliada y pronosticada a diferentes intervalos (segundos, minutos, día siguiente correspondiente al mercado). Nuvve ya suministra una amplia gama de servicios al sistema eléctrico (operadores del sistema de transmisión, etc.) incluyendo frecuencia y capacidad de reserva de suministro en diferentes mercados. Desde 2009 participa en el mercado de frecuencias PJM (Pennsylvania-Jersey-Maryland)

Los clientes no necesitan comprometerse a horas específicas de conducción; solo proporcionan información sobre el momento en que necesitan el vehículo. Nuvve no controla el vehículo, por lo que no hay ninguna obligación que limite a los clientes a conducir en caso de emergencia, etc. Nuvve trabaja con los reguladores de todo el mundo para abordar las lagunas reglamentarias de la V2G utilizando datos reales de las simulaciones.



Figura 16: Efecto de la batería del VE usada como respaldo para la red

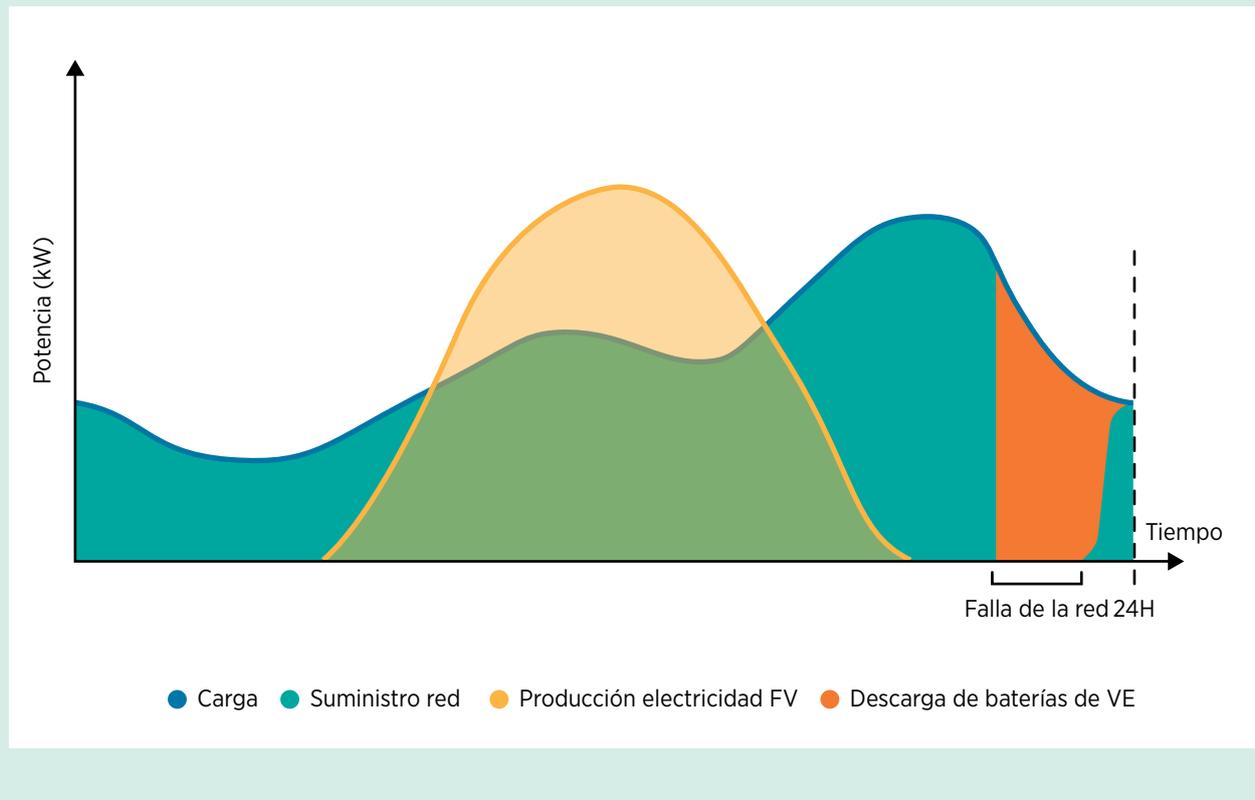
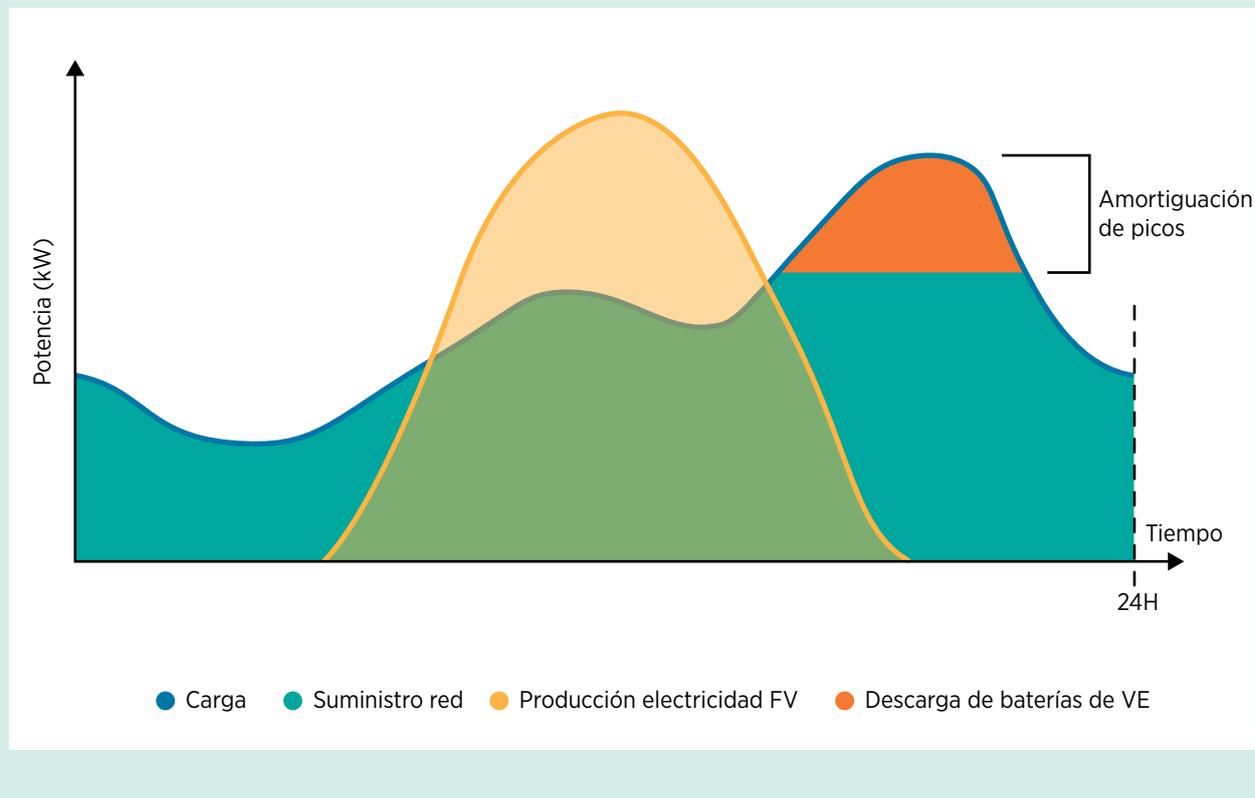


Figura 17: Efecto de la amortiguación de picos



MW a 2 MW, es decir el equivalente aproximado de 500 VE conectados a un circuito europeo estándar de 3,7 kW. Teniendo en cuenta que estos VE no siempre están disponibles, la cantidad de VE controlados tendría que ser incluso mucho mayor (Weiller y Sioshansi, 2016). En el Recuadro 7 se dan más ejemplos de proyectos de V2G.

Los beneficios de la carga inteligente pueden ampliarse aún más en los sistemas aislados, como se detalla en el Recuadro 8.

VGI con carga rápida

Las aplicaciones de carga rápida (*es decir*, carga a alta potencia) generalmente tiene un potencial muy bajo para VGI, aunque técnicamente sea posible. Cuando se necesita una carga rápida, no existe una verdadera opción de flexibilidad (tiempo de carga corto), y la carga pico en las estaciones de autopistas no coincide ni coincidirá con la carga pico convencional. Será

necesario mitigar el impacto de la carga rápida en la red con la instalación de puntos de carga en áreas con bajo impacto en la congestión y la demanda pico local, al tiempo que se logra una alta tasa de utilización (para la rentabilidad).

Sin embargo, en algunas aplicaciones específicas, la carga rápida puede ocurrir en otros momentos. Por ejemplo, un conductor de un autobús eléctrico que tenga la oportunidad de cargar en varias paradas podría elegir no cargar si esta flexibilidad tiene un valor y no lo afecta a él. La flexibilidad relacionada con la carga rápida de los vehículos eléctricos para servicio pesado será investigada en el marco del proyecto de cuatro años de la UE ASSURED, iniciado en 2017. En el proyecto se probarán soluciones innovadoras para vehículos de servicio pesado y medio con diferentes conceptos de infraestructura de carga interoperable que se desarrollarán como casos de negocios, teniendo en cuenta los costos y beneficios comerciales y societarios.

Recuadro 7: EJEMPLOS DE PROYECTOS DE VEHÍCULO A RED

- En febrero de 2019 la ciudad de Hamburgo lanzó el proyecto "ELBE", que se centra en la financiación de la instalación de estaciones de carga de VE en edificios y locales comerciales. El proyecto incluye la aplicación de la tecnología V2G y de tarifas dependientes de la carga en las que los VE se consideran un consumo controlable*.
- Nissan y Enel se han asociado para implementar una solución de gestión energética que utiliza unidades de carga V2G y permite a los propietarios de los vehículos y a los usuarios de energía funcionar como centros energéticos individuales, capaces de extraer, almacenar y devolver la electricidad a la red. Se pusieron en marcha dos proyectos piloto en Dinamarca (Proyecto Parker) y en el Reino Unido para probar la solución. A lo largo de 2016, los propietarios de vehículos eléctricos Nissan ganaron dinero enviando energía a la red a través de los cargadores bidireccionales de Enel, y los operadores de los sistemas de transmisión de Dinamarca y el Reino Unido se beneficiaron de los servicios de la red de regulación primaria (Enel, 2016). El ingreso anual por respuesta de frecuencia por vehículo fue de alrededor de 1400 euros.
- A finales de 2017 Mitsubishi anunció un proyecto piloto V2G utilizando los paquetes de baterías de más de 25 000 PHEV Outlanders en los Países Bajos. El proyecto se implementará en cooperación con el operador de red TenneT, el proveedor de soluciones de carga inteligente para vehículos eléctricos NewMotion y el proveedor de servicios de tecnología y equilibrio de red V2G Nuvve. Como en el ejemplo de Nissan en Dinamarca, el papel de Mitsubishi será proporcionar reservas de capacidad a través de la conexión de Outlanders PHEV Outlanders (Ayre, 2017).
- A diferencia de los otros pilotos que se centraron en V2G con corriente continua (CC), un piloto de Renault, Elaad y Lombo Xnet en Utrecht, Holanda, probó la V2G de CA. Una norma que aún está en fase de redacción, la ISO 15118 Ed2, permitiría a las estaciones de carga que no sean la CHAdeMO implementar las funcionalidades de la V2G. Sin embargo, esto requeriría estaciones de carga que puedan comunicarse, así como vehículos con capacidad de flujo de energía bidireccional, y tanto las estaciones de carga como los vehículos tendrían que implementar la norma ISO 15118 Ed2. El ensayo incluyó la primera estación de carga de CA bidireccional y controlada por energía solar del mundo. El suministro de energía de reserva dio como resultado beneficios monetarios del orden de 120 a 750 euros anuales por propietario de un VE (de Brey, 2017).

* <https://elektromobilitaethamburg.de/>

Recuadro 8: CARGA INTELIGENTE EN SISTEMAS DE ISLAS

Los sistemas de energía de las islas han sido pioneros en el estudio de las aplicaciones avanzadas de los recursos energéticos distribuidos, incluyendo el VGI, por varias razones. Las islas suelen depender en gran medida de los combustibles fósiles, y los combustibles derivados del petróleo representan una parte importante del uso total de energía primaria (la inclusión de fuentes más tradicionales es limitada).

Si bien cada sistema aislado es diferente en cuanto al clima, la población y la actividad económica, la respuesta a las perturbaciones de los sistemas eléctricos en las regiones insulares suele ser "más ajustada", es decir, la pérdida de unas pocas unidades de suministro eléctrico tiene un impacto mayor que en los sistemas interconectados, y los efectos de las caídas de tensión son más significativos. En consecuencia, el equilibrio de la red es más difícil, el riesgo de pérdida de carga y de apagones es mayor y se requieren más reservas (Ramírez Díaz *et al.*, 2015). La introducción de altas participaciones de ERV por sí sola representa, por lo tanto, un desafío para la estabilidad del sistema.

Al mismo tiempo, muchas islas turísticas ya cuentan con flotas de automóviles de alquiler que representan un caso de uso adecuado para la electrificación (se necesita un número limitado de cargadores en toda la isla) y se están utilizando como sistemas de almacenamiento de energía distribuida.

Varios estudios han demostrado las sinergias:

- En la isla de Barbados, un escenario de VE para 2030 con un suministro solar y eólico que cubría el 64 % de la demanda y más de 26 000 VE en el sistema demostró un costo de producción cinco veces menor con la estrategia de carga inteligente más eficiente en comparación con la carga no controlada. Incluso la carga descontrolada conduciría a un mayor nivel de vertido de ERV, incluso si es inferior al escenario de referencia sin VE, es decir, los VE siguen estando parcialmente cargados con ERV (Taibi y Fernández, 2017).
- El modelo de Tenerife (Islas Canarias, España) mostró que el impacto de 50 000 VE aumentaría la participación de las energías renovables en el parque eléctrico de la isla hasta un 30 %, reduciría las emisiones de CO₂ en un 27 %, reduciría el costo total de la generación eléctrica en un 6 % y reduciría el mercado interno del petróleo en un 16 % (Ramírez Díaz *et al.*, 2015).
- El modelo de São Miguel en el archipiélago de las Azores (Portugal) demostró que los vehículos eléctricos podrían contribuir a aumentar la producción de energía renovable (Camus y Farias, 2012).
- La isla de Samsø (Dinamarca) admitiría incluso hasta un 100 % de generación eléctrica renovable mediante el uso de VE como vehículos de cero emisiones (Pascale-Louise Blyth, 2011).

También es posible lograr la optimización local mediante la combinación de la carga rápida con baterías estáticas y ERV instalada localmente. Cuando se requiere carga rápida, no se espera que el usuario del VE autorice mucha flexibilidad en tiempo o potencia; sin embargo, la combinación de la infraestructura de carga rápida con el almacenamiento estático de la energía puede aumentar la flexibilidad de la estación frente a la red, a través de la amortiguación. Se pueden integrar una cubierta solar y un almacenamiento estático en una infraestructura de carga o incluso en los propios puntos de carga, como apoyo al uso de los puntos de carga (típicamente de alta potencia). Esto ayuda a limitar el consumo de energía de la red, evitar cargos por alta demanda (es decir, aumentar el autoconsumo) y permitir picos de carga más altos con un impacto limitado en la red.

Por ejemplo, en los EE. UU., los proyectos conjuntos entre el proveedor de estaciones de carga ChargePoint y la empresa de almacenamiento de energía Green Charge Networks están usando baterías in situ y programación de cargadores de VE para controlar y facilitar la demanda de la red de estaciones de carga, ayudando a sus anfitriones a evitar incurrir en costosos cargos por demanda (St. John, 2015).

Tesla se está asociando con empresas de servicios públicos para el almacenamiento de energía en la red, con estaciones Supercharger que actúan como «amortiguadores de la red». Un paquete de baterías de 0,5 megavatios hora (MWh) junto a la estación de súper carga significa que los automóviles pueden cargarse directamente desde ese paquete sin que la red eléctrica vea el pico (Herron, 2013). Fastned en

los Países Bajos instala en sus cargadores rápidos una cubierta solar y un almacenamiento para compensar la demanda de electricidad.

3.3. Infraestructura de carga

Infraestructura de carga actual

El tipo de carga es uno de los factores relevantes que determinan la disponibilidad de flexibilidad de VE.

Mientras que la electricidad de CA fluye a través de la red de distribución eléctrica, las baterías de VE requieren electricidad de CC. Por lo tanto, siempre es necesario un convertidor (o cargador) CA/CC. Este convertidor puede estar ubicado en el punto de carga («cargador externo») o en el vehículo («cargador de a bordo»). La elección entre cargador externo o de a bordo es una negociación entre el costo de la estación de carga (a bordo es más barato) y el vehículo (los cargadores fuera de bordo reducen el peso y el costo del convertidor en el vehículo). La corriente alterna también es más fácil de conseguir (el tipo de corriente que sale del enchufe), por lo que, en igualdad de condiciones, un cargador de a bordo significa que hay más lugares disponibles para la carga.

En el Anexo 2 se resumen los niveles de producción de potencia más comunes de los EVSE y los modos de carga basados en el uso de diferentes protocolos de comunicación entre el vehículo y el cargador.

- Para baja potencia (en general hasta 22 kW) – *es decir*, Nivel 1 y Nivel 2 en América del Norte y cargadores «lentos» o «normales» en Europa – se despliegan cargadores de a bordo en la mayoría de los casos. Permiten al VE cargar en conectores convencionales o en puntos de carga de CA de bajo costo.
- El rango de potencia intermedio (de 22 kW a 50 kW) no se usó mucho inicialmente, y cuando se desplegó, se eligió la solución de CA (*por ej.*, Renault hasta 43 kW de CA). Sin embargo, un número cada vez mayor de proveedores de soluciones de carga proponen la carga con CC (carga externa) en este rango de potencia intermedia. Esta nueva tendencia podría tener una mayor repercusión en el despliegue de las soluciones de carga de CA. Sin embargo, no hay consenso en este momento desde el punto de vista de los fabricantes de equipos originales de vehículos.
- Para la potencia alta («cargadores rápidos», que suelen comenzar en 50 kW), en la mayoría de los casos se despliegan cargadores externos. El convertidor CA/CC, al ser más grande, más pesado

La carga rápida y ultrarrápida sería una prioridad para el sector de la movilidad. Sin embargo, la carga lenta es más adecuada para la carga inteligente que la carga rápida y ultrarrápida. Además, la carga rápida y la ultrarrápida pueden aumentar la potencial del pico de demanda en las redes locales. Soluciones como el intercambio de baterías, las estaciones de carga con almacenamiento intermedio y la carga nocturna de flotas de vehículos eléctricos podrían ser relevantes en combinación con la carga rápida y ultrarrápida.

y más caro con el aumento de la potencia, se ubica entonces en el punto de carga y se comparte entre los vehículos). Los vehículos para servicio pesado, en especial los autobuses urbanos, cuando cargan en paradas intermedias o finales, suelen usar pantógrafos a 150-300 kW

La Tabla 8 ofrece un resumen de los proyectos actuales de carga ultrarrápida. Muchos automóviles eléctricos ya son capaces de cargar a 50 kW. Por ejemplo, Tesla tiene su propia infraestructura de carga de hasta 140 kW. El Express Plus de ChargePoint es una plataforma modular y escalable de carga rápida de CC que puede proporcionar de 62,5 kW a 500 kW a medida que aumentan las necesidades de carga. Los autobuses eléctricos están cargando con capacidades de potencia que suelen ir de 22 kW hasta 300 kW. La carga con CC se usa para carga de alta potencia de automóviles eléctricos y para autobuses eléctricos.

Los principales lugares de carga son en el hogar, el trabajo y en lugares públicos y semipúblicos. La mayor parte del tiempo se implementa la carga de CA. En el hogar, la potencia baja suele ser suficiente (*por ejemplo*, 3,7 kW en un circuito de 240 V) y se instalan cargadores de CA. Si se requiere mayor potencia, o si se sigue un objetivo de autoconsumo máximo (*por ej.*, con una producción de energía solar fotovoltaica local), se instalan estaciones de carga de CA o CC de potencia intermedia (7,4 kW a 11 kW). La carga de alta potencia de CC se despliega a menudo a lo largo de las autopistas, pero algunas ciudades también la despliegan para la carga en la calle (*por ejemplo*, Belib en París).

Perspectiva de la infraestructura de carga inteligente

A medida que aumente la autonomía de la batería, la carga por cable seguirá siendo probablemente la tecnología de carga más común para los vehículos ligeros durante los próximos años. A medida que los VE alcancen progresivamente la autonomía de los vehículos de MCI, el

Tabla 8: Visión general de los principales proyectos de infraestructura de carga ultrarrápida de los fabricantes de vehículos y las empresas de servicios públicos

Ubicación	Coalición	Tipo de empresas	Planes	Madurez
Global	Tesla	Empresa de movilidad integrada	> 1000 estaciones hoy; planes de ampliar a 10 000	145 kW hoy (120 kW por automóvil)
China	Red estatal de China	Empresa de servicio públicos estatal	160 000 puntos de carga públicos hoy; planes para construir 10 000 estaciones de carga / 120 000 postes de carga para 2020	Hasta 360 kW
Europa	Ionity: BMW, Ford, Mercedes, Volkswagen, Audi, Porsche	Joint venture de OEM	400 para 2020	Hasta 350 kW
Europa	Allego y Fortum	Proveedor de infraestructura de carga y servicio público	322 cargadores ultrarrápidos y 27 nodos de carga inteligente para 2020	Hasta 350 kW
Europa	E.ON y Clever (Dinamarca)	Proveedor de servicios públicos y servicio de movilidad eléctrica	180 para 2020	150 kW
Europa	Enel	Servicios públicos (Italia)	900 hoy; 7000 para 2020; 14 000 para 2022	22 kW (rápida); 50 kW (rápida); 150 kW (ultrarrápida)
Europa	Alianza de carga rápida abierta	Consortio global de líderes de infraestructura de VE pública y privada	> 500	Hasta 150 kW
EE. UU.	Nissan, BMW y Ford financian EVgo	OEM	> 220	
EE. UU.	Electrify America, subsidiaria de Volkswagen	Solución no patentada de OEM	> 300	150-350 kW

Basada en proyecto y sitios web de empresas

tiempo de carga se convertirá en una cuestión más crítica, lo que ejercerá una mayor presión tanto sobre el ciclo de la batería como sobre las innovaciones de la infraestructura de los EVSE. Al mismo tiempo, la gran autonomía se utilizará solo hasta cierto punto, lo que implicará necesidades limitadas de carga ultrarrápida, incluso con la movilidad como servicio (MaaS) y la expansión de los vehículos autónomos, debido a su alto costo. Prevalecerá la carga lenta (hasta un rango de potencia intermedio) en el hogar y en los nodos.

Entre 2030 y 2050 se desarrollarán alternativas a la carga conductiva, tanto para los vehículos ligeros activados por MaaS y la conducción autónoma, como

para los camiones y autobuses. Es probable que la carga estática aporte innovaciones importantes pero sin una mayor repercusión sobre la flexibilidad de la red.

Perspectiva de la infraestructura de carga: Hacia una potencia de carga mayor

Para alrededor de 2024, es posible que la autonomía de los automóviles eléctricos de 600 km pase de ser un nicho a ser un lugar común. El consumo de electricidad de un VE es de alrededor de 20 kWh cada 100 km (menos para un automóvil pequeño a baja velocidad). Una autonomía de 1000 km, tal como se anunció para el nuevo Tesla Roadster, requeriría una batería de alrededor de 200 kWh.

En comparación con la primera generación de automóviles eléctricos a principios de la década de 2010, la capacidad de la batería ha aumentado notablemente. En un principio, se introdujeron baterías en el rango de 20 kWh. Menos de 10 años después esta capacidad se ha duplicado por lo menos, y la autonomía es hasta cinco veces mayor. Los automóviles de lujo como el Porsche Mission E anunciado para 2019, el Audi eTron a la venta en 2018 y el Jaguar I-PACE (disponible en 2018-2019) tienen o tendrán baterías de 80-100 kWh. Alrededor de 2021 serán posibles baterías aún más grandes, por ejemplo, 120 kWh con la plataforma BMW iNext.

Entre 2030 y 2050 los VE deberían ser capaces, en teoría, de alcanzar autonomías similares a las actuales de los automóviles diésel y más. Sin embargo, la necesidad práctica de estas autonomías y el aumento correspondiente de la potencia de carga pueden seguir siendo ilimitados.

Los VE se utilizaron en un principio mayormente para fines urbanos, con distancias de manejo típicas de menos de 10 000 km por año. En la actualidad, los automóviles eléctricos están andando 15 000 km por año, igual que los automóviles promedio o incluso más. Sin embargo, en el contexto europeo por ejemplo, la distancia de conducción diaria promedio es solo de 30-40 km, con un 95 % de los viajes durante el año por debajo de los 110 km, lo que significa que la autonomía de manejo disponibles actualmente es suficiente (Leemput, 2015).

De todos modos, la necesidad de cargar rápidamente en las autopistas aumentará a medida que se utilicen cada

vez más los VE con mayor capacidad de batería para viajes extraurbanos y a medida que se recorran distancias diarias mayores. También pueden surgir cuestiones novedosas como las colas en la infraestructura de carga pública (que ya se producen en Noruega, por ejemplo), que causan frustración a los usuarios.

Para una carga rápida en 15-20 minutos, incluso los modelos previstos para 2018-2019 requerirán una potencia de carga mucho mayor que la utilizada comúnmente hoy en día (> 200 kW). La industria está haciendo grandes esfuerzos para construir cargadores aún más potentes, como se muestra en el Recuadro 9.

Para una batería de 200 kWh, se necesitaría una potencia de carga de 600 kW si el conductor quisiera cargar rápidamente. Con la química actual, una batería puede cargarse a 3C (*es decir*, se necesitan 20 minutos para cargar la batería de 0 % a 100 % si se mantiene el mismo nivel de potencia)⁶. Un índice de carga 3C significa que la corriente de descarga descargará toda la batería en 20 minutos.

Una carga aún más rápida (menos de 15 minutos para el 80 % de la capacidad de la batería) podría ser posible con una mejor química de la batería. Pueden producirse avances en las baterías, incluyendo la mejora del índice C en las próximas décadas, que pueden incluso duplicarlo.

Sin embargo, aún cabe preguntarse qué «velocidad» serán necesaria realmente en las estaciones de carga rápida. La mayoría de los vehículos muy raramente conducirán

Recuadro 9: ESFUERZOS DEL CONSORCIO

El objetivo de un consorcio industrial llamado CharIN, dirigido principalmente por fabricantes de automóviles alemanes, es adaptar el estándar Combo a una potencia mayor (350 kW) para poder cargar el 80 % de la batería en unos 15 minutos.

Los miembros de CharIN incluyen compañías de automóviles (*por ejemplo*, Audi, BMW, Daimler, Ford, GM, Honda, Hyundai, Jaguar-Land Rover, Mahindra, Mitsubishi, Opel, Porsche, PSA, Renault, Tesla y VW), empresas de servicios públicos (*por ejemplo*, EnBW), fabricantes de hardware (*por ejemplo*, ABB, Siemens) y operadores de estaciones de carga (*por ejemplo*, ChargePoint, Shell) (CharIN, 2018a).

La Asociación CHAdeMO también se ha estado preparando para la carga de alta potencia. Publicó el protocolo de 200 kW en 2017, y el último protocolo de hasta 400 kW se publicó en junio de 2018. La Asociación CHAdeMO, establecida en 2010, cuenta con unos 400 miembros de 36 países, entre los que se encuentran empresas de automóviles, servicios públicos, fabricantes de hardware, operadores de estaciones de carga y proveedores de servicios de plataformas integradas en la red (Asociación CHAdeMO, 2018). A corto plazo, se instalarán estaciones de carga de alrededor de 150 kW.

6 La tasa C es una medida de la velocidad de descarga de una batería en relación con su capacidad máxima.

más de 600 o 1000 km por día. Y si hay conductores humanos al volante, tomarán descansos. Incluso si los VE se utilizan cada vez más para los automóviles autónomos de mayor autonomía, puede que no haya necesidad de ir más allá de esos valores. Conducir 1000 km en una zona urbana significaría conducir durante 20 horas (optimista incluso para MaaS) a una media de 50 km por hora (una velocidad muy alta para una zona urbana). Se considera que los taxis actuales que recorren 200 km por día ya tienen un alto kilometraje, aunque conduzcan 16 horas por día (Olsen, 2017).

Si fuera así, la compensación entre el tamaño de las baterías (y el peso y costo correspondientes) desempeñará un papel importante a pesar de las evoluciones esperadas de la batería. Por este motivo, los tamaños de las baterías pueden seguir siendo limitados según el uso, en especial dentro de la optimización del manejo de la flota a medida que prolifera la MaaS.

En general, la carga (más) lenta durante la noche seguirá siendo la más atractiva para la red y para los conductores de vehículos ligeros, a pesar de los posibles avances en la energía de carga rápida y en la química de las baterías que se resumen en la Tabla 9.

Sin embargo, los avances en la tecnología de las baterías harán bajar el costo de las baterías de uso típico y, por lo tanto, también el costo de los propios VE.

No obstante, los patrones concretos serán diferentes para otros modos de transporte como los automóviles de pasajeros, el transporte de cargas, los taxis y los autobuses.

Por último, los PHEV y con otras fuentes como los vehículos ecológicos alimentados con hidrógeno también podrían considerarse como alternativas, no solo para los automóviles de pasajeros sino también en otras aplicaciones como los camiones industriales y comerciales, los autobuses y los taxis.

La carga de VE tendrá un impacto sobre las inversiones en la red de distribución. La inversión en la red (en términos de cables y transformadores) que se necesitará en un lugar determinado dependerá de las características de la red de distribución local, incluidos los cuellos de botella para el despliegue de VE, la metodología de dimensionamiento de la red de distribución por parte de cada operador del sistema de distribución, la presencia de energía solar FV conectada a nivel de baja tensión, etc. Por ejemplo, si se utiliza la carga inteligente en esos lugares, puede incluirse con refuerzos de red más bajos que en los lugares donde no se utiliza la calefacción eléctrica. La integración de altas proporciones de energía solar FV conectada a nivel de baja tensión podría facilitarse con la carga inteligente, mientras que en lugares con ninguna o muy baja proporción de energía solar FV, los VE podrían aumentar la presión sobre las redes locales.

Impacto de los patrones de transporte en las necesidades de carga en diferentes ciudades y regiones

Los diferentes patrones de transporte urbano también afectarán las necesidades de carga. En gran medida, estos patrones están determinados por la interacción de la densidad de población y el nivel de desarrollo económico. En las zonas en desarrollo densamente pobladas, la infraestructura vial de baja calidad y la congestión pueden impedir una gran adopción de la movilidad compartida. Con el próximo crecimiento

Las baterías de automóvil más grandes no requieren por definición cargadores más potentes. La carga lenta debería ser suficiente para cargarlas durante la noche. La carga ultrarrápida ayudará a superar la ansiedad del cliente y actuará como un complemento. Incluso los automóviles autónomos en el escenario MaaS que se estacionen durante menos tiempo probablemente no superarán los 20 kW de capacidad de carga. No siempre se necesitarán baterías más grandes.

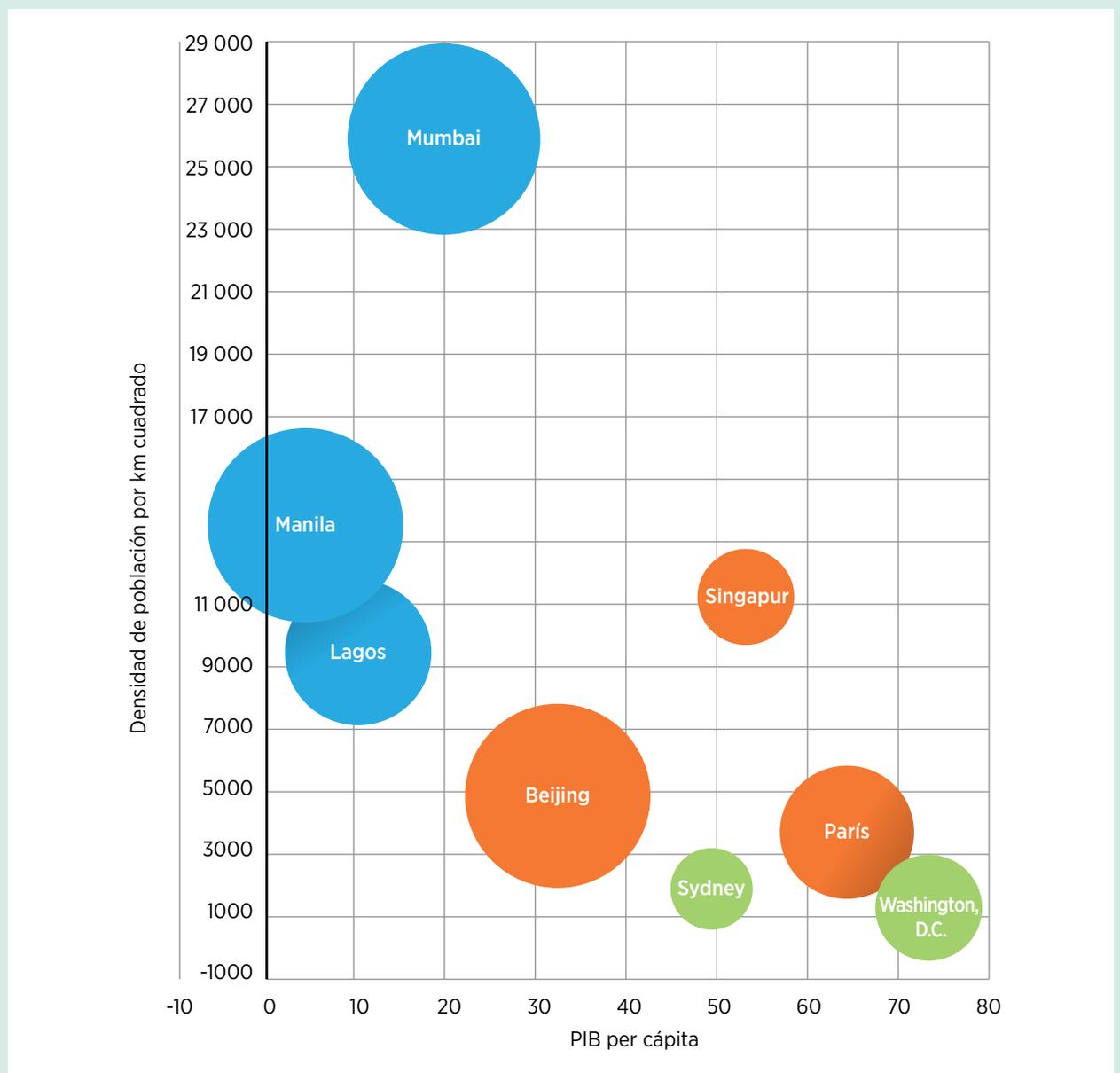
Tabla 9: Autonomías de los vehículos ligeros y necesidades de desarrollo de potencia de carga rápida para 2030-2050

	2018	2023	2030-2050
Capacidades de autonomía de manejo (km)	300-400 km	600 km	600 - 1000 km
Desarrollo de carga rápida (potencia/velocidad de carga)	150 kW = 750 km/h	240 kW = 1 200 km/h	600 kW = 3 000 km/h

Tabla 10: Necesidades cambiantes según el tipo de ciudad

	Automóviles de propietarios particulares	Movilidad compartida	Transporte público	Vehículos de dos ruedas	Tipo de carga predominante
Áreas metropolitanas densas de bajos ingresos			⊕ ⊕	⊕ ⊕	Carga pública, nodos para autobuses
Expansión de los suburbios de altos ingresos	⊕ ⊕	⊕	⊕		Carga doméstica
Áreas metropolitanas densas de altos ingresos	⊕	⊕ ⊕			Nodos de carga, más carga rápida

Figura 18: Ejemplos de tipos de ciudad



Basado en Demographia, 2017.

urbano en África y Asia, cada vez más personas vivirán en ciudades que son amigables para los vehículos de dos ruedas (y las ciudades también pueden centrarse en ellos, como ya se ve con los negocios de uso compartido de motocicletas en Asia). En las zonas desarrolladas y densamente pobladas, donde la infraestructura está en buen estado, la movilidad compartida puede prosperar.

Sin embargo, en las ciudades de altos ingresos y baja densidad de población, la propiedad privada puede seguir siendo el medio de transporte más importante. En la Tabla 10 se presenta una topología de las ciudades y se explica cómo sus características específicas afectarán la demanda de movilidad en el futuro. Describe esas tendencias de carga en tres tipos principales de ciudades y las correspondientes necesidades de carga. En la figura 18 se presentan ejemplos de las ciudades actuales para cada categoría (el tamaño de la burbuja indica el tamaño de la población de la ciudad). Estas características también afectarán la evolución de la MaaS y los vehículos autónomos.

Desarrollo de la infraestructura de carga e incentivos relacionados

En teoría, la infraestructura de carga pública debería ser más sostenible comercialmente a medida que se expande el mercado de los VE, con modelos de negocio basados en la electricidad o en la venta al por menor combinados con servicios de red y otras fuentes de ingresos como la publicidad. En los mercados emergentes de VE seguirán siendo necesarios programas de financiación destinados a segmentos de mercado difíciles como las estaciones de carga en las aceras, las viviendas multifamiliares y la recarga rápida interurbana (ICCT, 2017a).

En primer lugar, los mercados emergentes con escasa penetración de VE pueden necesitar incentivos iniciales para la carga a fin de impulsar el mercado. Por ejemplo, Costa Rica introdujo incentivos en forma de una reducción sustancial de los impuestos a la importación de VE, pero solo se vendieron menos de 1000 VE debido a la falta de infraestructura (SLoCaT, 2017).

En segundo lugar, la viabilidad comercial de la carga pública y, por lo tanto, la necesidad de cobrar incentivos a la infraestructura se verá afectada principalmente por factores demográficos y de vivienda. El análisis de los datos sobre la carga en los principales mercados de VE en todo el mundo demostró que las ciudades con mayor densidad como Ámsterdam tienen aproximadamente 1 cargador público por cada 5 VE, en comparación con 1 cargador público por cada 25-30 VE en California (ICCT, 2017a). En algunas partes de Europa y en las megaciudades asiáticas,

donde la densidad de población es elevada y donde la mayoría de las personas no viven en edificios con garajes y aparcamientos fuera de la calle, la cobertura de la carga pública seguirá siendo importante y tal vez sea necesario desarrollarla como servicio público durante algún tiempo en el futuro. En Europa, el 40 % de los conductores no tiene acceso a los puntos de carga fuera de la calle.

Pero aún en ese caso, la mayoría de los conductores querrán tener acceso a un cargador «propio» en la calle, al menos si prevalece la propiedad de VE particulares. Existen en el mercado alternativas a la construcción de nuevos puntos de carga completos, como la modernización de la infraestructura existente de alumbrado público, a una fracción del precio de los puntos de carga normales. La empresa alemana de reciente creación Ubitricity se ha asociado con el ayuntamiento de Londres para desarrollar esos puntos de carga (Kensington y Chelsea, 2017). Sin embargo, los procedimientos locales (permisos, etc.) suelen ser largos y representan barreras para estas innovaciones.

La estructura actual de las tarifas de la red eléctrica puede presentar una parte sustancial de los costos de electricidad de un lugar de carga eléctrica. Los niveles de tensión más altos requeridos para una carga rápida suelen aplicar porcentajes más altos de carga de demanda. Los eventos de carga simultánea en las estaciones de carga rápida aumentan así los cargos de demanda al elevar el pico de demanda. Los cargos por demanda pueden suponer más del 65 % o incluso hasta el 90 % (RMI, 2016) de los costos.

Sin embargo, las estaciones de carga rápida de CC se caracterizan actualmente por tener un bajo factor de carga, con casos esporádicos de alto uso de energía debido a un número limitado de vehículos en el mercado que utilizarán estas estaciones a corto plazo. Esto puede someter a los propietarios de los sitios de carga rápida a cargos significativos basados en la demanda junto con una baja utilización, haciendo que la provisión de soluciones de carga rápida durante la fase crítica de adopción temprana sea antieconómica. La próxima generación de cargadores rápidos de CC capaces de cargar vehículos hasta 500 kW es necesaria para satisfacer las necesidades del mercado de VE en evolución, pero solo exacerbará esta cuestión, en especial a medida que los autobuses de tránsito y otros vehículos medianos y pesados también pasen a la tracción eléctrica.

Esta cuestión puede abordarse mediante la optimización local con energía y almacenamiento renovables: ubicando estaciones en lugares de alta demanda de energía o

instalando almacenamiento de energía in situ para gestionar el pico de demanda y proporcionar servicios de red adicionales. La energía puede cargarse en horas de baja demanda/tarifa (por la noche o en momentos de exceso de producción de renovables) (Mauri y Valsecchi, 2012) y descargarse en las horas de demanda pico. Los cargos por pico de demanda pueden seguir siendo iguales ante el aumento del uso de la conexión en términos de kWh.

Por lo tanto, la reglamentación de algunos países/regiones alienta la inclusión del almacenamiento de energía y la energía renovable local (principalmente la energía solar FV) para los sitios de carga rápida, a fin de reducir los costos y la necesidad de aumentar la capacidad (*por ejemplo*, mediante acuerdos de compra de energía renovable para los proveedores de carga en algunos estados de los Estados Unidos). Sin embargo, los elevados costos de capital adicionales del almacenamiento pueden limitar la eficacia de esta técnica para mitigar los cargos por demanda.

Muchas jurisdicciones de los Estados Unidos, como California y Nueva York, han aplicado o están considerando opciones alternativas de diseño de tarifas, por ejemplo:

- El cargo por demanda podría ser sustituido o complementado con un precio volumétrico mayor para proporcionar una mayor certeza a los operadores de estaciones de carga con baja utilización. Esta tasa podría escalar en función de la utilización o del factor de carga, ya que el comportamiento de la carga cambia con el tiempo ante el aumento de la adopción de VE.
- Un crédito en la factura mensual que representa un porcentaje de la demanda nominal asociada con la infraestructura de carga instalada detrás del servicio medido de un cliente comercial.
- Un crédito retroactivo y variable basado en la diferencia entre el cargo de distribución combinado eficaz por kWh, incluidos los cargos de demanda, y una tasa combinada objetivo acordada, multiplicada por el rendimiento energético volumétrico en cada ciclo de facturación para los clientes comerciales con estaciones de carga de VE dedicadas (*por ejemplo*, la Long Island Power Authority en Nueva York).

La reducción de las tarifas de la red debido al mayor nivel de conexión de tensión y la posibilidad de cobrar los precios mayoristas de la electricidad en las estaciones de carga rápida (en comparación con los precios al consumidor final o al por menor que se cobran en el hogar o en las oficinas) también puede ser cada vez más importante con el aumento de la demanda de energía de carga, y podría eventualmente hacer bajar los precios de la carga rápida.

En definitiva, la reglamentación tendrá que encontrar el equilibrio apropiado para permitir a las empresas de servicios públicos una recuperación razonable y prudente de los costos y, al mismo tiempo, alentar a los emplazamientos a desplegar y hacer funcionar cargadores rápidos de CC. También desempeñarán un papel importante los incentivos para la infraestructura de recarga de viviendas en varios niveles. Dado que el cableado del edificio representa hasta el 50 % del costo de instalación de la carga, la integración del precableado para el equipo de carga de los VE de un cierto nivel en cualquier nueva construcción puede aliviar sustancialmente esas barreras.

Los países y las ciudades pueden exigir que un determinado porcentaje de las plazas de estacionamiento nuevas o acondicionadas estén «preparadas para los VE» mediante requerimientos en los códigos de construcción. Con los reglamentos de zonificación, las ciudades pueden influir en el lugar y la cantidad de estaciones de carga para vehículos eléctricos que pueden instalarse en cada zona. Se trata de una herramienta clave que puede influir en la disponibilidad de la infraestructura de carga en el futuro, cuando la falta de carga en viviendas y lugares de trabajo en varios niveles pueda convertirse en un obstáculo importante para la adopción y pueda restringir la electrificación del transporte.

En algunas regiones de los Estados Unidos ya se han aplicado medidas de este tipo. Por ejemplo, el Código de Normas de Construcción Ecológica de California de 2015 exige que el 6 % de todas las plazas de estacionamiento de los edificios comerciales incluyan infraestructura para VE, y desde entonces se ha ampliado aún más. En Los Angeles, es obligatorio incluir capacidad de salida y circuito de 240 V para los cargadores de Nivel 2 en todos los edificios nuevos (ICCT, 2017a). La nueva ordenanza de Atlanta exige que un 20 % de los lugares de carga en edificios comerciales esté preparado para VE así como infraestructuras eléctricas en edificaciones residenciales nuevas para dar soporte a los VE (Pyzyk, 2017). En Ontario, Canadá, se exige que el 20 % de los estacionamientos de todos los edificios nuevos no residenciales tengan una capacidad de circuito completo para soportar la carga de los vehículos eléctricos (Ontario, 2018).

Se han puesto en marcha varias iniciativas para aumentar el número de estaciones de carga en las principales ciudades de Europa (por ejemplo, Ámsterdam, Londres, París). La UE ha hecho propuestas ambiciosas al respecto. A pesar de que estas finalmente se diluyeron, la nueva legislación de edificios de la UE requiere que al menos un punto de carga (en lugar del 10 % de las plazas de estacionamiento originalmente propuesto) en los edificios no residenciales esté equipado con puntos de

carga listos para la carga inteligente. Además, los edificios residenciales nuevos y renovados con más de 10 plazas de estacionamiento deben incluir el precableado para permitir instalar sin esfuerzo en el futuro puntos de carga de VE en cada plaza de estacionamiento.

Aunque los incentivos directos para la compra de vehículos eléctricos pueden eliminarse progresivamente en la mayoría de los lugares dentro del horizonte temporal de 2030, es probable que los incentivos para la infraestructura de carga sigan presentes para impulsar los mercados o para abordar segmentos de mercado complejos como la carga ultrarrápida y las viviendas multifamiliares. Además, las autoridades locales tendrán que perfeccionar los procedimientos de autorización para la carga.

Alternativas a la carga con cable

Además de la evolución de la potencia de carga por cable, ya están surgiendo una serie de innovaciones tecnológicas de carga con gran potencial que estarán disponibles en el futuro.

Se está desarrollando la carga inalámbrica estática. Hay un despliegue limitado de esta tecnología para los autobuses y proyectos para los automóviles. Sin embargo, carece de estandarización, su costo es mayor y su eficiencia ligeramente menor. También es necesario hacer frente a algunos posibles problemas de compatibilidad y seguridad. Actualmente, la potencia máxima de la carga inalámbrica es inferior a la de la carga convencional (por cable o pantógrafo): 200 kW para autobuses (*por ej.*, Bombardier PRIMOVE) y 11 kW para los automóviles (*por ej.*, WiTricity).

En el caso de los camiones y autobuses de larga distancia, la tecnología actual de las baterías no permite realizar viajes de larga distancia sin una carga frecuente (posiblemente cada 100-200 km en el caso de los camiones y cada 100-300 km en el caso de los autobuses con tecnología disponible en 2017) a alta potencia (> 500 kW), lo que hace que su electrificación sea menos atractiva. Los vehículos autónomos también requerirán nuevas soluciones de carga.

Por estos motivos, se están explorando la carga continua y el intercambio de baterías. Su aparición es más difícil de evaluar debido a la incertidumbre sobre la mejora de la tecnología de las baterías (aumento de la densidad) y su reducción de costos a largo plazo.

Carga continua

Tanto la carga continua conductiva como la inductiva son potencialmente atractivas:

- La *carga conductiva* utiliza la transferencia de energía conductiva. Requiere el uso de un tablero de carga como transmisor de energía para entregar la energía, y de un dispositivo de carga, con un receptor incorporado, para recibir la energía.
- La *carga inductiva*, también llamada inalámbrica, usa un campo electromagnético para transferir energía entre dos objetos por medio de inducción electromagnética (Figura 19).

La carga conductiva requiere una conexión metal a metal. Puede hacerse a través del sistema estático basado en tierra con placas conductoras, para el cual Alstom está desarrollando un producto basado en su experiencia con tranvías (ELinGo, 2018). Otra alternativa es el uso de *catenarias* en algunas vías, como está probando Siemens con la «eHighway». Estas tecnologías pueden reducir potencialmente el tamaño de la batería, permitiendo la utilización de vehículos para servicio pesado más baratos y ligeros con mayor capacidad de pasajeros (autobuses) o de carga (camiones). Sin embargo, todavía están en un nivel de madurez inferior en comparación con los pantógrafos tradicionales que toman la corriente de los cables aéreos. Además, requieren más inversión para adaptar las rutas (estimada en 1-2 millones de euros/km para las catenarias).

La carga continua también puede hacerse de manera inalámbrica, tal como se ha probado en la República de Corea y en Bélgica en un proyecto piloto con autobuses y con el Renault Kangoo.

La carga inalámbrica estática (inductiva) puede ser más común en aplicaciones masivas, incluso ya a corto plazo (alrededor de 2020) para automóviles de lujo. Por ejemplo, una solución de WiTricity debería formar parte del 530e de BMW anunciado para 2018 (Sullivan, 2018)

Extraer energía continuamente de la red en tiempo real de las carreteras electrificadas a través de la carga dinámica inalámbrica podría aumentar la disponibilidad de flexibilidad (Suh y Cho, 2017). Los impactos de la carga inalámbrica continua en la flexibilidad deben ser investigados más a fondo.

Los vehículos autónomos son más convenientes con la carga automatizada, siendo la carga inalámbrica estática la tecnología más madura entre ellas. En ese caso, el alcance de la conducción del vehículo

autónomo y el tiempo disponible para la carga serán los parámetros clave a considerar con respecto a la repercusión en la red.

En la Tabla 11 se presentan los pros y los contras de la carga inalámbrica.

Los esfuerzos de normalización en curso en esta área incluyen:

- Norma internacional IEC 61851-23-1: Sistema de carga conductiva para vehículos eléctricos - Parte 23-1:

Carga de CC con sistema de conexión automática: esta norma cubrirá la implementación de la carga con pantógrafo para los autobuses eléctricos.

- Serie Norma internacional IEC61980 - trabajo en curso, que abarca temas de carga inalámbrica.
- Normas de carga para autobuses eléctricos - como se discuten, por ejemplo, en el proyecto ASSURED de la UE.

En la Tabla 12 se resumen las perspectivas para 2030 y 2050 con respecto a los diferentes tipos de VE. En el Anexo 2 se brindan más detalles de las diferentes

Tabla 11: Pros y contras de la carga inalámbrica (inductiva)

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> · Baterías de menor tamaño con carga de oportunidad (<i>por ejemplo</i>, en los semáforos) · No hay necesidad de cables de carga · Menos puntos de carga ocupando lugar en las calles · Buena combinación con vehículos autónomos 	<ul style="list-style-type: none"> · Eficiencia limitada (máx. 90 % hoy en día) · Necesidad de construcción de infraestructura · Necesidad de una alineación adecuada entre el transmisor y el receptor · Los automóviles todavía necesitan una carga conductiva "por si acaso": más complejidad, más piezas

Figura 19: Carga inductiva

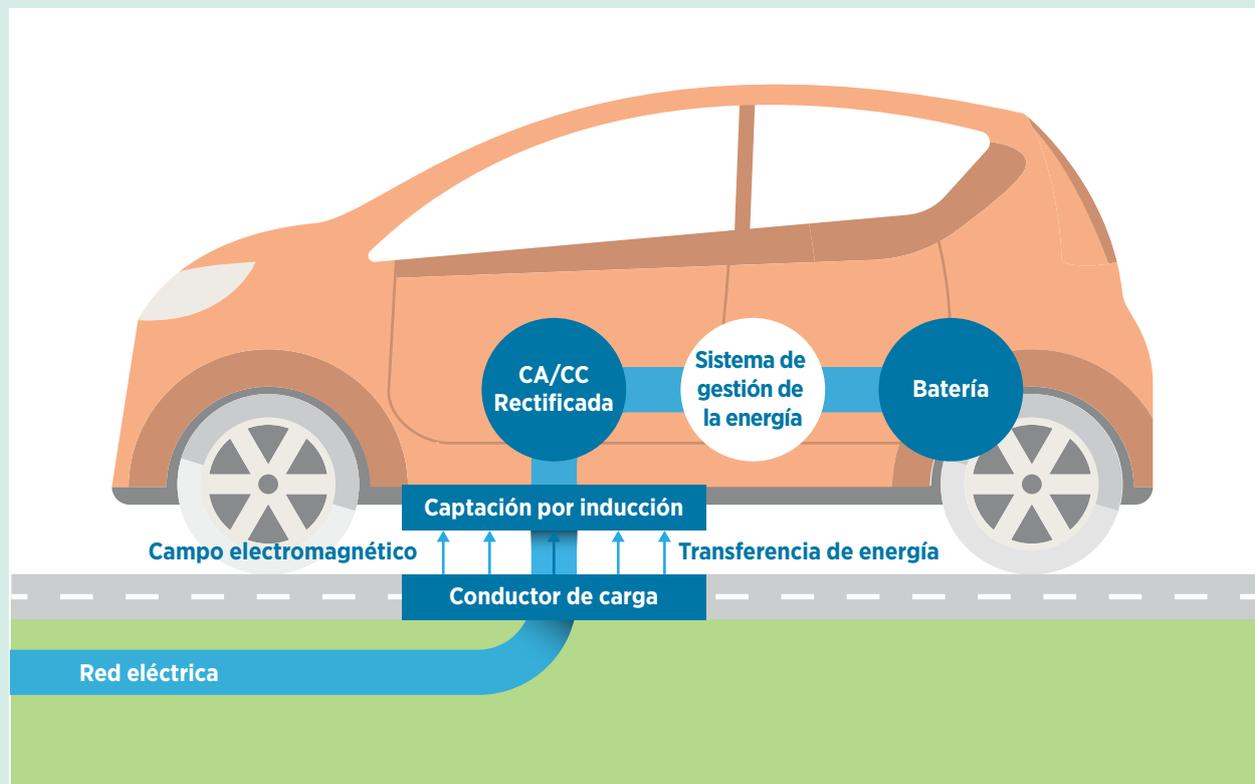


Tabla 12: Resumen de las soluciones de carga para automóviles y vehículos de servicio pesado

Tipo de vehículo	2020	2030	2050
Automóvil eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> · Carga con cable (3-150 kW) · Carga inalámbrica estática para algunos automóviles de lujo (3-11 kW) · Carga inalámbrica dinámica, carga continua en tierra a nivel de piloto 	<ul style="list-style-type: none"> · Carga con cable(3-350 kW, posiblemente de mayor potencia) · Carga rápida inalámbrica estática · La carga continua de los automóviles probablemente no está muy extendida debido a la mejora de la batería 	
Camión eléctrico	<ul style="list-style-type: none"> · Carga con cable (40-150 kW) · Carga inalámbrica estática (hasta 200 kW) a nivel de piloto · Carga continua con catenaria a nivel de piloto 	<ul style="list-style-type: none"> · La tecnología ganadora depende de la mejora de la batería · Para los camiones urbanos: carga estática (por cable o inalámbrica) por la noche o se detiene · Para los camiones de larga distancia: la carga continua es una opción si la batería no mejora rápidamente, debido al menor costo 	
Autobús eléctrico urbano	<ul style="list-style-type: none"> · Carga de depósito con cable hasta 50 kW o pantógrafo (hasta 600 kW) · Pantógrafos en estaciones finales o algunas estaciones intermedias (150-600 kW) · Limitado despliegue comercial de la carga inalámbrica estática en las paradas (hasta 200 kW) · Carga continua con el pantógrafo en un número limitado de ciudades que ya tienen infraestructura (trolebús o catenarias) · Carga inalámbrica continua a nivel de piloto 	<ul style="list-style-type: none"> · Carga en terminales con cable o pantógrafo o inalámbrica (hasta 50 kW) · En las paradas, cargando con el pantógrafo o inalámbrico (hasta 1 MW) · El uso de la carga continua sigue siendo incierto. Si las baterías siguen mejorando y la infraestructura sigue siendo cara, entonces el despliegue sería limitado 	

soluciones de carga según el tipo de vehículo y las necesidades de potencia.

Intercambio de baterías

El intercambio de baterías incluye reemplazar una batería descargada de un VE por una cargada, eliminando así la necesidad de esperar en la estación a que se cargue el VE. El modelo de negocio se basa en el arrendamiento/alquiler/abono para el uso de estaciones de intercambio de baterías o sistemas de pago por uso de baterías para VE. La compra del automóvil puede separarse de la compra de la batería para reducir el costo de adquisición del vehículo, o el propietario puede seguir siendo el dueño de la batería. Este enfoque podría ser utilizado por los particulares o por flotas (*por ej.*, transporte público)

El intercambio de baterías para vehículos de pasajeros fue promovido por Better Place, una empresa israelí que tiene un modelo comercial para automóviles inspirado directamente en los planes de telefonía móvil (plan de suscripción o de pago por kilómetro). Los clientes no serían dueños de la batería; la empresa simplemente garantizaría una capacidad mínima para cada batería que provee. El modelo de Better Place fue adoptado solo por Nissan y Renault -ambos ofrecían una batería integrada, así como un esquema de intercambio de baterías- y enfrentaron una reacción bastante tibia de los clientes. Sin embargo, este modelo parece estar retornando para los vehículos de dos ruedas y para las flotas.

El intercambio de baterías se adapta mejor a las flotas cautivas que regresan regularmente al mismo lugar en donde las baterías vacías pueden reemplazarse

Tabla 13: Pros y contras del intercambio de batería

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> · Tiempo de repostaje muy rápido, in importar el tamaño de la batería (típicamente 5-10 minutos) · Se pueden utilizar las baterías almacenadas para equilibrar la red 	<ul style="list-style-type: none"> · Sin baterías estandarizadas: logística pesada para los automóviles · La red de intercambio de baterías debe ser desplegada de inmediato: alto gasto de capital · Los automóviles todavía necesitan una carga conductiva "por si acaso": más complejidad, más piezas

por baterías llenas, y que están compuestas por una cantidad pequeña de diferentes modelos de vehículos y baterías. En la Tabla 13 se presentan los pros y los contras del intercambio de baterías.

Gracias a los desarrollos tecnológicos, en el futuro los proveedores de carga podrían operar estaciones de intercambio de batería o rutas de carga inalámbricas:

- El intercambio de baterías puede proliferar junto con el desarrollo y la automatización de la flota. La reducción del tiempo de inactividad de un automóvil (taxi, rickshaw eléctrico) o un autobús con una estación de intercambio y la reducción del costo total de propiedad (si la batería está separada de la propiedad del automóvil o la flota) puede contribuir a la accesibilidad y la productividad en varias aplicaciones. Ya existen estaciones de intercambio de baterías para autobuses (sobre todo en China y la República de Corea) y vehículos de dos ruedas, entre ellos el exitoso Gogoro de reciente creación (Recuadro 10).

Los modelos más comunes son el arrendamiento, el alquiler o el pago por uso. También es posible desarrollar el intercambio de baterías para camiones (de entregas pequeñas y de larga distancia) en los mercados emergentes: el fabricante de camiones indio Ashok Leyland anunció una asociación con la empresa de reciente creación SUN Mobility para el desarrollo de estaciones de batería alimentadas con energía renovable (Ghoshal, 2017). Tesla también anunció planes similares en el pasado para su Model S, en el que el conductor es dueño de la batería y

la estación de intercambio no funciona como una estación de almacenamiento.

La estandarización de las baterías que permitirían a la estación servir baterías para varios modelos de vehículos con intercambio automatizado de baterías, así como la confiabilidad de los paquetes de baterías, siguen siendo importantes barreras de entrada para este modelo. Es posible que solo funcione cuando se ofrezca como una solución completa (vehículos más estaciones de intercambio) para flotas cautivas (autobuses, carga, etc.).

- Otra posibilidad es el funcionamiento de carreteras de carga inalámbricas, si se concreta el potencial de la tecnología de carga dinámica de los vehículos eléctricos (Goodwin, 2017; Fagan, 2017), o incluso de autopistas inteligentes, si sistemas como el ferrocarril de seguridad flexible y las señales inteligentes permiten adaptar el número de carriles en cada dirección en función de las necesidades del tránsito.

3.4 Facilitadores de la carga inteligente

Comportamiento del consumidor

La comparación de las expectativas de los entusiastas de la tecnología y el mercado de masas puede marcar una brecha sustancial entre estos diferentes grupos de clientes. Mientras que los primeros son los que están a la cabeza dispuestos a probar nuevas soluciones y

Recuadro 10: GOGORO

Gogoro Smartscooter de Chinese Taipei ya ha enviado más de 35 000 scooters y ha inspirado el servicio de intercambio de scooters Coup de Bosch en París y Berlín. El modelo de negocio consiste en vender un scooter eléctrico y cobrar una cuota mensual de suscripción de aproximadamente 25 dólares para utilizar las estaciones de intercambio de baterías. Una red de estaciones de baterías (GoStations) forma parte de la red eléctrica, por ejemplo, trabajando con Ámsterdam para aprovechar al máximo este potencial. En el Taipei chino, las estaciones de intercambio de Gogoro ya están siendo equipadas con paneles solares (Gogoro, 2018).



que aspiran a contribuir personalmente a una sociedad sostenible (e incluso a pagar una prima por ello), los segundos favorecen las soluciones cómodas y accesibles. La digitalización ayudará a superar esta brecha y, con el tiempo, contribuirá a romper los silos entre los sistemas de potencia y energía, facilitando la carga inteligente.

A pesar de las bajas cifras de ventas hasta la fecha, la aceptación de los vehículos eléctricos por parte de los consumidores ha ido mejorando continuamente con el aumento de la autonomía de conducción. Esto ha sido un problema durante mucho tiempo, aunque varios estudios han demostrado que, ya hoy en día, las necesidades energéticas del 87 % de los vehículos-día podrían ser satisfechas por un VE existente y accesible (Needell *et al.*, 2016). Aunque algunas encuestas han demostrado que los conductores principiantes podrían estar más interesados en comprar un VE, otras encuestas, como la de Koetsier (2017), mostraron que la aceptación de esta tecnología, incluso por millennials, está lejos de estar garantizada. A pesar de ello, es probable que la tendencia de los millennials a favorecer los servicios compartidos y a demostrar preferencia por el acceso sobre la propiedad impulse la adopción de la movilidad como servicio (MaaS) y las sinergias con la conducción eléctrica.

Pero incluso una vez que se alcanza una alta penetración de VE, la disponibilidad teórica de flexibilidad debe corregirse según las preferencias de cada conductor. El servicio de transporte seguirá siendo una prioridad. Tiene que haber un incentivo para que el usuario se conecte lo más posible para explotar todo el potencial de la flexibilidad. A los clientes individuales que participen en la recarga inteligente se les tendrá que asegurar que siempre haya un vehículo suficientemente cargado disponible para sus

Es necesario que los modelos de negocios tengan en cuenta las necesidades del sistema eléctrico (remuneración de la provisión de servicios a los sistemas eléctricos) así como de los propietarios del vehículo (movilidad y preservación del estado del vehículo).

desplazamientos. Además, los hábitos de carga no serán homogéneos, por ejemplo en cuanto a la sensibilidad al precio. Los hábitos de viaje actuales, el acceso al estacionamiento, las actitudes hacia el reabastecimiento de combustible y las percepciones de las diferentes opciones de carga de los VE pueden diferir (Delta-ee, 2018). Será necesario que las tarifas dinámicas sean amplias y ofrezcan incentivos pertinentes para la participación de los clientes.

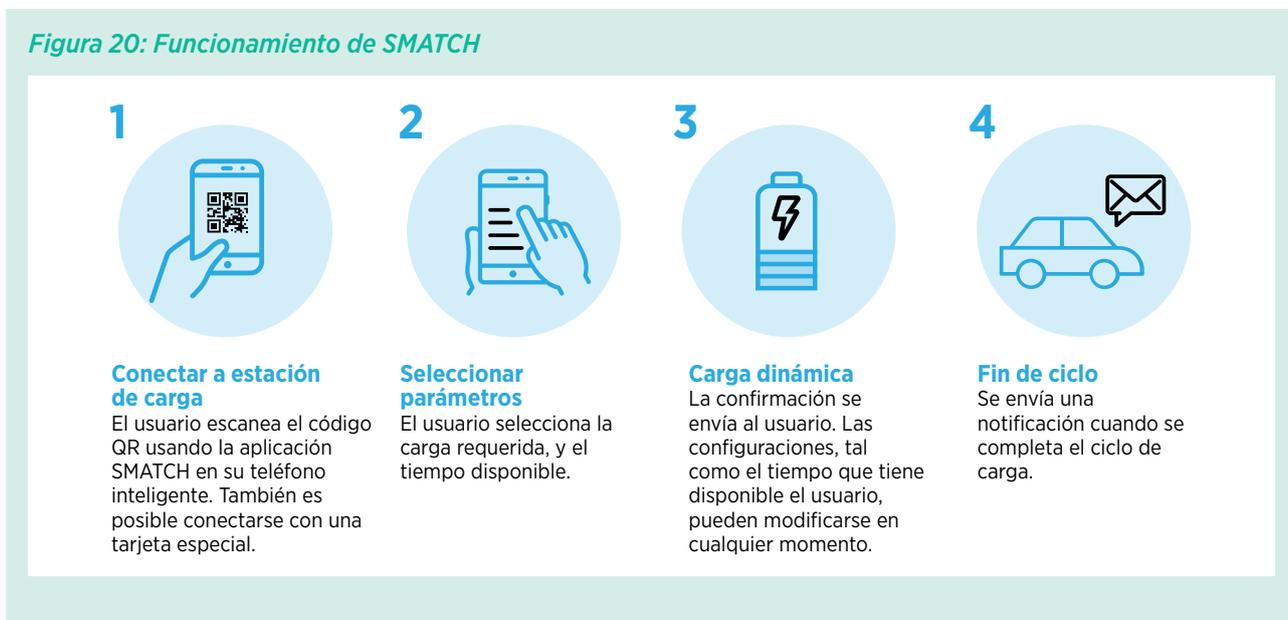
Por lo tanto, deben controlarse parámetros como la velocidad de carga, el estado de las baterías de los VE, la potencial reducción de la vida útil de las baterías y otros. Esto debe tenerse en cuenta al momento de determinar el modelo de negocios de los VE. Por ejemplo, la prestación de servicios operativos requeriría que la batería actuara “a pedido” al tiempo que ofrece ingresos estables solo por estar disponible. Por otro lado, el arbitraje del precio de la electricidad requiere carga y descarga repetitivas, que reducen significativamente la vida útil de la batería.

Big data e inteligencia artificial

El uso de herramientas digitales puede ayudar a mejorar la aceptación por parte de los clientes de los vehículos eléctricos y a navegar la complejidad del mercado, interactuando con la red para aumentar las cuotas de energía renovable. Algunos productos ofrecidos en el mercado ya permiten precisamente eso. Por ejemplo, la solución de carga doméstica WallBox es un sistema de carga inteligente que carga automáticamente los VE cuando los costos de energía son más bajos, gestionando la recarga con una tecnología de detección intuitiva (Wallbox, 2018).

Incluso podrían desplegarse algoritmos de inteligencia artificial (IA) para atender mejor las necesidades de los consumidores de VE. Por ejemplo, la plataforma de computación en nube Azure de Microsoft, que encuentra patrones en los datos recogidos por los sensores en el mundo real, interpreta estos datos y puede tomar decisiones sobre el mantenimiento o la vigilancia remota de diferentes activos utilizando las capacidades de la IA. En Alemania, Microsoft está asociado con EnBW AG para desarrollar alumbrado público inteligente, que puede recoger datos de emisiones y cargar VE. Además,

Figura 20: Funcionamiento de SMATCH



con ABB Ltd., Microsoft lanzará la próxima generación de plataformas de carga rápida de VE (BNEF, 2017d).

Schneider Electric, en el campus de EUREF en Berlín, ha colaborado con el Centro de Innovación para la Movilidad y el Cambio Social para completar una microrred inteligente que cuenta con IA y capacidad de aprendizaje automático que optimiza activamente la carga de los VE. Controla la demanda de carga para que coincida con la capacidad de la red y envía el excedente de energía de vuelta a la red, basándose en una fijación de precio dinámica (Tricoire y Starace, 2018).

La digitalización también permitirá nuevos modelos de negocios. El modelo de «proveedor cargador», tal como se describió, seguirá evolucionando hacia un modelo «como un servicio». Los avances en la tecnología de la información y las comunicaciones (TIC), incluidos el manejo y análisis de datos de los patrones de cobro, harán posibles nuevas funcionalidades como el mantenimiento remoto y la gestión de las estaciones de carga. Ya existen servicios que facilitan la carga inteligente y optimizan la eficiencia en varios puntos de carga.

Por ejemplo, la solución SMATCH B2B de ENGIE, que se muestra en la Figura 20, permite al usuario indicar sus necesidades de carga y optimizar el uso del punto de carga, maximizando el uso de la generación local de energía renovable y reduciendo la amortiguación de picos en el proceso. Debido a que reduce la energía total requerida para la recarga, SMATCH permite reducir la infraestructura eléctrica hasta un 30 % (Laborelec, 2017).

Por último, la digitalización desempeñará un papel clave en la optimización entre el servicio de transporte

y los servicios de la red, tanto en la fase de planificación como en la de operación. Las tecnologías digitales y el análisis de datos permitirán ajustar la demanda de movilidad a los patrones de suministro eléctrico, ser lo más compatibles posible e identificar las ubicaciones más óptimas para los puntos de carga.

Un estudio de los datos del transporte en Boston sobre la mejor ubicación de las estaciones de carga demostró que es posible reducir entre un 20 y un 30 % la energía para llegar a la estación de carga más cercana sin aumentar el número de estaciones de carga (Santi, 2017).

Además de encontrar los mejores lugares para la carga de los VE, los análisis de transporte derivados de big data pueden mejorar la estimación de la carga de la red y el costo eléctrico, así como el V2G. La información sobre la hora del día es clave para la V2G, ya que las curvas de carga genéricas pueden no revelar variaciones en las cargas de estacionamiento de los lotes que están ubicados cerca unos de otros, pero que tienen perfiles muy diferentes (Schewel, 2017).

Tecnología blockchain

Del mismo modo, el pago y la facturación de los servicios de los VE, así como el suministro de flexibilidad por parte de los VE a la red, podrían simplificarse aún más con el avance de las nuevas tecnologías, incluida la blockchain. Las blockchain son registros distribuidos

Para la carga de VE, los principales beneficios de la blockchain son la liquidación directa (es decir, ya no es necesario el roaming) y la alta interoperabilidad y automatización de los servicios.

y seguros que permiten las transacciones. Funcionan como bases de datos distribuidas que contienen una lista de registro de datos que crece continuamente, los «bloques». Las transacciones son verificadas por computadoras manejadas por los usuarios de la red, los llamados nodos. Por lo tanto, no se necesita un tercero para garantizar que una transacción se haya realizado correctamente. Su principal ventaja, además de su descentralización, es la posibilidad de tener transacciones seguras y baratas, incluso para el cobro.

En noviembre de 2017, siete proveedores de cinco países, principalmente empresas de servicios públicos lanzaron la experiencia Oslo2Rome: Viajes transfronterizos europeos con VE usando la aplicación Share&Charge de MotionWerk basada en la tecnología de blockchain. Share&Charge es una iniciativa con base en Alemania con 1200 estaciones públicas y privadas equipadas con esta solución. Está evolucionando desde la empresa al consumidor (B2C) hacia el B2B y una solución más amplia de red de cobro público, que permita a los proveedores de servicios acceder al producto y añadirlo a su propia variedad de prestaciones.

Esta tecnología también puede utilizarse para las soluciones de cobro de cliente al cliente (C2C): el uso

compartido de un cargador privado con otra persona cuando no se utiliza a cambio de una tarifa. Para esto se necesitaría un hardware para enchufes domésticos con una funcionalidad para conectarse a la blockchain (piloto actual entre MotionWerk y WallBee), ya que hoy en día la carga doméstica se hace con enchufes simples que, a diferencia de la carga pública, no están equipados con un software de respaldo que verifique la identidad del usuario, establezca una conexión y proporcione permiso para cargar.

En lo que respecta a la aplicación de tarifas y roaming, existe la posibilidad de que las soluciones basadas en blockchain perturben o, al menos, afecten al modelo de plataforma como servicio (PaaS). La blockchain podría facilitar el cobro inteligente y la V2G mediante la conexión de diferentes partes y facilitando las transacciones monetarias entre los agregadores y los clientes (las transacciones del mundo real llevan más tiempo y cobran tarifas más altas) a través de un formulario de estándares de código abierto, sustituyendo a las soluciones patentadas que se están desarrollando hoy en día. En los Países Bajos, IBM, TenneT y Vanderbron están estudiando la utilización de la tecnología de blockchain en el cobro inteligente para proporcionar servicios de red (Recuadro 11).

Recuadro 11: TENNET Y VANDEBRON PRUEBAN LA BLOCKCHAIN IBM PARA EL COBRO INTELIGENTE

El operador del sistema de transmisión TenneT ha puesto en marcha varios proyectos para probar el uso de la blockchain en la gestión de sus redes. TenneT utiliza la plataforma de blockchain permitida por IBM, construida sobre el marco Hyperledger, que se aplica en varios sectores, entre ellos los servicios financieros, las cadenas de suministro y la atención de la salud.

El proyecto en los Países Bajos con el proveedor de energía verde Vandebroon está investigando el uso de los VE de los clientes para disponer de flexibilidad para ayudar a TenneT a equilibrar la red en los momentos de demanda pico. La blockchain permite que los VE conectados participen registrando su disponibilidad y su acción en respuesta a las señales de TenneT. Cuando se necesita en la red un aumento de potencia, se detiene brevemente la carga de VE y se compensa al propietario del vehículo por la interrupción (Engerati, 2018).

La carga lenta seguirá siendo importante para la integración de las energías renovables a pesar de la proliferación de la carga rápida, incluso después de la introducción de la MaaS y de los vehículos autónomos entre 2030 y 2050. La digitalización y la estandarización permitirán ir más allá de la simple carga por tiempo de uso de los VE. La mejora del uso de los VE, primero con aplicaciones automatizadas V1G y luego cada vez más con V2X, también debería impulsar las sinergias con las energías renovables.

4. MODELOS DE NEGOCIOS Y PERSPECTIVAS REGLAMENTARIAS

La adopción generalizada de los VE exige nuevos modelos de negocio para desarrollar los EVSE (equipos de carga de vehículos eléctricos). Esta sección presenta una visión general del actual posicionamiento estratégico de los actores de la movilidad eléctrica, enfocándose en la infraestructura.

4.1 Actores del mercado de la movilidad eléctrica

El mercado de la movilidad eléctrica incluye los siguientes segmentos:

- Ventas de VE: mientras que la mayoría de los vehículos ligeros se venden por medio de *leasing*, hay que considerar la adquisición pública de medios de transporte público como los autobuses.
- Servicios de movilidad: estos servicios incluyen el uso compartido de automóviles eléctricos, el transporte intermodal, la gestión de flotas, la prestación de servicios de electromovilidad y, cada vez más, la recopilación y el análisis de datos de los conductores, los administradores de flotas y las estaciones de carga.
- Venta de electricidad para alimentar VE: incluye la venta al por menor de electricidad, así como la reventa por parte de los proveedores de infraestructura de carga.
- Instalación y mantenimiento de la infraestructura de carga.
- Operaciones de las estaciones de carga (carga inteligente/gestión de datos/facturación).
- E-roaming: es clave para la interoperabilidad de los servicios de carga así como para la independencia de la fijación de tarifas regionales/nacionales.
- Servicios de red avanzados como la agregación y V2G (emergente).

En este mercado emergente intervienen muchos actores tradicionales y nuevos, tanto del sector de la movilidad como del de la energía. Además de Tesla, con su visión de una empresa de movilidad integrada que impulse el cambio en el sector, entre los nuevos proveedores independientes figuran proveedores de servicios de uso compartido de automóviles (*por ejemplo*, Zen Car y BlueIndy de Bolloré), desarrolladores de estaciones de carga dedicadas, operadores, gestores de datos, proveedores de plataformas de e-roaming, así como proveedores y agregadores de servicios de redes avanzadas.

Los fabricantes de automóviles están buscando nuevas formas de entrar en el mercado de la movilidad eléctrica

y están aumentando la confianza en el producto centrándose en la reducción de la ansiedad por la autonomía. Las empresas de servicios energéticos no solo buscan suministrar electricidad a los puntos de carga, sino también alternativas a la venta de «kilovatios hora», ya que evalúan un cambio hacia la instalación y operación de infraestructura de carga, y el suministro de nuevos servicios de energía inteligente. Incluso las empresas energéticas del sector del petróleo y el gas se están preparando para un cambio hacia la movilidad sostenible.

Las alianzas a lo largo de la cadena de valor entre estos actores son cada vez más típicas de este mercado. Buscan modelos de negocios viables a lo largo de esta cadena de valor, captando y proporcionando valor al cliente. En la figura 21 se resumen los tipos más importantes de modelos comerciales (Laurischkat *et al.*, 2016) y ejemplos de actores del mercado activos en cada ámbito.

Los modelos de negocio más desarrollados son la venta de VE acompañada de servicios de movilidad y de carga, como se detalla en el Anexo 3.

4.2 Modelos comerciales de nexo VE-red

Se están desarrollando varios modelos de negocio en el nexo VE-red, pero todavía no se han comercializado completamente ni se han generalizado, incluyendo servicios de energía inteligente, agregación de flexibilidad de VE, intercambio de baterías y uso de baterías de segunda vida.



Figura 21: Resumen del posicionamiento de actores estratégicos en la cadena de valor de la movilidad eléctrica



Nota: Logos ofrecidos por las empresas. Esto no constituye respaldo o recomendación de ningún producto o proveedor por parte de IRENA.

Proveedor y agregador de servicios de energía inteligente

El modelo comercial de vigilancia y control de una gran cantidad de recursos juntos, agregándolos y vendiendo su energía o capacidad en los mercados mayoristas o de servicios complementarios, ha ido madurando para las cargas mayores y la generación distribuida. Sin embargo, la agregación de baterías de los VE y la oferta de servicios que los VE pueden proporcionar al mercado aún no se han comercializado completamente.

No obstante, el interés por este modelo va en aumento. No solo las empresas de servicios públicos, sino también varios grandes fabricantes de automóviles, así como las empresas de servicios de carga, están invirtiendo en servicios de gestión y agregación de energía. Por ejemplo, la plataforma JuiceNet de eMotorWerks (adquirida por Enernoc, que es propiedad de Enel) puede agregar instalaciones de almacenamiento distribuido, incluidas, entre otras, baterías para VE, para proporcionar servicios de equilibrio de la red y de gestión de la energía.

Sin embargo, la rentabilidad y la competitividad de la flexibilidad de los VE con respecto a otras fuentes de flexibilidad a nivel de sistema sigue siendo una cuestión clave:

- En primer lugar, los diferenciales de precios en el sistema pueden disminuir, por ejemplo, por la generación eléctrica solar fotovoltaica diurna, y pueden no volver a aumentar si hay suficiente flexibilidad en el sistema (se esperan diferenciales de precios bajos en los mercados diurnos de Alemania y España, pero altos en el mercado del Reino Unido (Schucht, 2017)).
- En segundo lugar, es posible que los ingresos procedentes de los servicios complementarios no proporcionen suficiente flexibilidad en todos los mercados. A diferencia de las elevadas estimaciones de los proyectos piloto mencionados en la sección 3, los estudios de otros mercados pueden revelar valores mucho más bajos. Por ejemplo, el cálculo para Alemania se basó en un volumen de mercado de control primario y secundario de 265 millones de euros para 2015, suponiendo 10 millones de VE con una disponibilidad del 90%, lo que representa un valor de 29 euros por VE al año. Cabe destacar que la demanda de estos servicios se limita actualmente a 660 MW, y que estos 10 millones de VE representarían un volumen aproximado de 30 000 MW, lo que haría bajar aún más los precios.
- Por último, los VE competirán con otros tipos de flexibilidad descentralizada, como los recursos de respuesta a la demanda, y con las propias baterías usadas de los VE. Las baterías para VE de segunda vida serán baratas y ya están siendo utilizadas por los fabricantes de automóviles en la actualidad.

El caso de los VE puede ser más potente a nivel local, lo que llevará a una posible minimización de los proyectos de ampliación de la red de baja y media tensión. Sin embargo, este potencial caso comercial tendría que ser monetizado por los conductores de VE y los proveedores de servicios. Como ya se ha mencionado, actualmente no es así, ya que faltan mercados locales de flexibilidad para mitigar la congestión en las redes de distribución.

Se están probando diferentes modelos de negocios, con diferentes actores que ven sinergias con su experiencia en diferentes segmentos del nexo VE-red.

El VIG unidireccional podría ser manejado por un gestor de puntos de carga. Si se realizara a distancia, esto podría hacerse a través de una estructura de software como servicio (SaaS), que podría gestionar numerosos puntos de carga y otras cargas en un sitio. Alternativamente, puede implementarse localmente como dentro de la infraestructura de carga (*por ejemplo*, sincronización local de VE-FV).

El funcionamiento de las baterías V2G y de segunda vida requiere un agregador. El modelo original de proveedor y agregador de servicios energéticos «nicho» se convertirá en un proveedor de plataforma de servicios energéticos, que combinará múltiples flujos de ingresos de VGI y otros productos y servicios energéticos. La combinación a medida de los servicios de energía inteligente / gestión de la energía en el hogar y en los edificios (carga inteligente, V2X) con V2G como parte de una cartera más amplia de recursos energéticos distribuidos agregados, así como de baterías de segunda vida, será algo habitual, en lugar de centrarse en una aplicación específica como ocurre en la actualidad.

Next Kraftwerke, operador de una central eléctrica virtual, y Jedix, agregador y proveedor de plataformas de carga inteligente para vehículos eléctricos (VE), han lanzado un proyecto piloto internacional que usa baterías de VE para suministrar reserva de control secundaria a TenneT, el operador del sistema de transmisión de los Países Bajos. Al conectar el VE a la plataforma Jedlix, Jedlix puede coordinar las preferencias de carga de los usuarios y establecer una conexión en vivo con el VE, asegurándose de que se cargue de manera inteligente. Según la preferencia de carga, cada VE puede proporcionar reservas de control positivas o negativas. Jedix podrá combinar información sobre las preferencias de los usuarios, datos de automóviles y estaciones de carga para ofrecer un pronóstico continuo de la capacidad disponible. Luego, Next Kraftwerke usa esto en el proceso

de licitación de TenneT para la adquisición de servicios de red (NextKraftwerke, 2018).

La actual VGI se basa en gran medida en el suministro de software para la gestión de carga de los desarrolladores de soluciones patentadas (como AutoGrid o Nuvve) a empresas de servicios públicos y flotas, a veces operadas por fabricantes de equipos originales. El modelo de proveedor de plataforma de servicios energéticos ya no es B2B, sino que integra el software y proporciona un espectro de servicios B2C. Los estudios de casos de Enel y Nissan (Recuadro 12) ilustran esta estrategia empresarial emergente desde los puntos de vista de las empresas de servicios públicos y de los fabricantes de equipos originales, respectivamente.

Pero las plataformas de servicios energéticos también pueden ser integradas en otras plataformas y por otros actores de otros subsectores. Por ejemplo, la construcción inteligente «como un servicio» que integra la gestión de la

energía está ganando terreno, y la recopilación de datos de los ocupantes, la agregación y la VGI de vuelta a la red podría ser el siguiente paso, aunque no sea el enfoque actual. Este espacio está actualmente dominado por gigantes de la electrónica (Schneider Electric, Siemens, Panasonic). Siemens está utilizando su sistema de automatización de edificios Desigo en un proyecto de investigación que integra los VE en la gestión energética del edificio (Siemens, 2017).

Aplicaciones de almacenamiento de segunda vida

Una alternativa al reciclaje de las baterías usadas de los vehículos eléctricos es reacondicionarlas y reutilizarlas en aplicaciones estáticas. Las soluciones de baterías de segunda vida también podrían proporcionar servicios de almacenamiento de energía. Una batería de VE necesita ser reemplazada cuando la capacidad disminuye hasta el 70-80%, es decir, cuando ya no es suficiente para el kilometraje diario pero todavía está en

Recuadro 12: PROVEEDORES FUTUROS DE PLATAFORMAS DE SERVICIOS DE ENERGÍA ESTRATEGIAS DE ENEL Y NISSAN

Además de desarrollar la infraestructura de carga y las ofertas de paquetes para la carga doméstica y pública, **Enel** ha invertido en el desarrollo de una estación de carga doméstica DC V2X accesible que carga y descarga a 10 kW. Enel ha participado en varios proyectos piloto - por ejemplo, en el piloto con Nissan en el Reino Unido han desempeñado el papel de proveedor de electricidad en el punto de carga, proveedor de software de carga y agregador.

En este piloto, los clientes de VE recibieron una compensación en forma de reducción de su factura de electricidad a cambio de la prestación de servicios de red y, gracias al servicio de energía inteligente, optimizan localmente su consumo aumentando el autoconsumo de su energía solar generada localmente y ahorrando en los cargos de red. Enel integró la energía V2G adquirida en su mayor cartera de servicios complementarios agregados, creando así una «amortiguación» para las incertidumbres debidas a posibles desviaciones en los horarios de los vehículos individuales, sin controlarlos directamente. Enel es pagada por los operadores del sistema de transmisión y distribución y comparte el valor con el cliente.

La plataforma JuiceNet de eMotorWerks -que Enel ha adquirido recientemente a través de una filial, Enernoc (Enel, 2017)- mejorará aún más las capacidades de la empresa para proporcionar servicios de energía inteligente (almacenamiento de VE-FV). Puede programar la carga de VE cuando la electricidad de los sistemas solares domésticos de los tejados es más abundante. Además, a través de JuiceNet, los VE, las estaciones de carga V2G y otras instalaciones de almacenamiento también pueden utilizarse para responder a las señales de la red, agregando actividades de carga y descarga para equilibrar los flujos de electricidad en la red cuando sea necesario.

El fabricante de automóviles **Nissan** también considera que la valorización de la flexibilidad agregada es una fuente de ingresos adicional. En enero de 2018, Nissan lanzó un nuevo sistema de generación solar y de almacenamiento de energía para uso doméstico en el Reino Unido (Nissan, 2018). El fabricante de automóviles sostiene que su solución permitirá a los propietarios de viviendas del Reino Unido aumentar la tasa de autoconsumo de la energía FV en el lugar y reducir las facturas de energía hasta un 66%. Más de 880 000 hogares en el Reino Unido ya tienen paneles solares y el mercado está creciendo. Este nuevo producto es una extensión del xStorage Home que Nissan desarrolló en colaboración con Eaton con baterías de segunda vida para vehículos eléctricos.

En octubre de 2017, Nissan anunció su asociación con OVO Energy para lanzar una nueva oferta que combina la capacidad VNet de OVO con el sistema xStorage Home de Nissan para desarrollar una OVO SolarStore y una oferta V2G para los clientes privados que compren el último Nissan LEAF (OVO Energy, 2017).

buenas condiciones para ser usada como un sistema de almacenamiento de energía.

Esto ofrece una extensión de la vida útil de hasta 10 años para la batería, a un precio convincente ya hoy en día, que se cree que es de unos 150 euros (180 dólares) por kWh (Reid, 2016). Según la aplicación, puede utilizarse para la precarga de red a batería (G2B) durante los períodos de precios bajos y para la descarga de batería a red (B2G) durante los períodos de precios altos. A modo de comparación, las baterías de segunda vida del Renault

Zoe pueden proporcionar la misma potencia que dos Tesla Powerwalls, y a un precio mucho más bajo.

Las ventajas y desventajas de utilizar baterías de segunda vida para el almacenamiento estático se resumen en la Tabla 14.

Además de los proyectos piloto, varios fabricantes de equipos originales han comenzado a explotar la reventa de baterías recicladas. La oferta de almacenamiento estático permite a las empresas de automóviles con gran capacidad de fabricación de baterías reducir la exposición

Tabla 14: Pros y contras del almacenamiento en baterías de segunda vida

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> · Monetización adicional de la batería después de haber cumplido su propósito principal en un VE · Ahorros en la fabricación de nuevas celdas de baterías · Demora en el reciclado de una batería con 70 % de capacidad restante, que es potencialmente un derroche, posponiendo las responsabilidades reglamentarias relacionadas 	<ul style="list-style-type: none"> · Menor rendimiento y vida útil restante ya que la batería se degrada con el tiempo debido al desgaste · Las baterías de los VE que han estado en uso por 10 años o más podrían ser tecnológicamente obsoletas, lo que las hace más adecuadas para el reciclaje en lugar de destinarlas a un uso de segunda vida

Tabla 15: Ejemplos de productos de almacenamiento secundario y demostraciones de parte de fabricantes de automóviles

Fabricantes de automóviles	Descripción del proyecto	Ubicación	Aplicación
BMW y Bosch	Proyectos de baterías de segunda vida Alianza con Vattenfall	Hamburgo	Apoyo a estaciones de carga rápida y VGI
BYD	Venta de baterías nuevas y recicladas	China, Australia	Energía de apoyo para torre de telecomunicaciones, lámparas a energía solar y VE de baja velocidad
Daimler, The Mobility House y GETEC	Proyecto de 13 MWh de 1000 paquetes de baterías; otro proyecto de 15 MWh en construcción	Alemania	Apunta a la provisión de servicios complementarios
Nissan	Energía de apoyo al Ámsterdam Arena con 148 paquetes de Nissan LEAFs (con Easton y The Mobility House); xStorage Home posible con baterías de segunda vida	Ámsterdam, Países Bajos;	
Reino Unido	Optimización detrás del medidor		
Renault	Sistemas E-STOR del proveedor de soluciones de energía británico Connected Energy, usando baterías Renault; ensayo con Powerwall para clientes equipados con energía solar	Reino Unido	Aplicación a escala de servicio público; aplicaciones para hogar inteligente

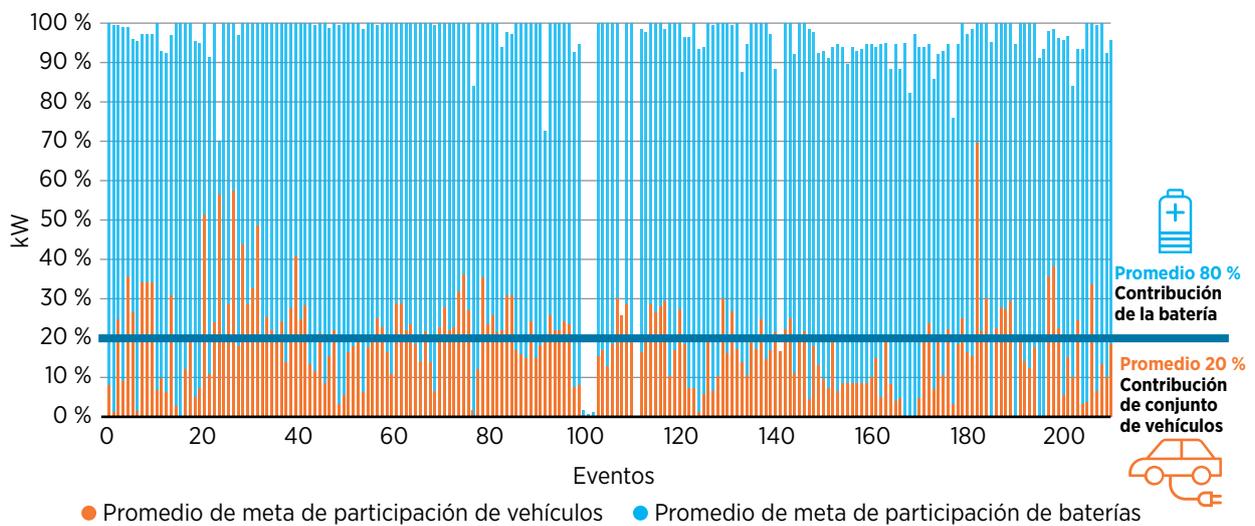
Basado en Holder, 2018a; Lambert, 2016; Engerati, 2017; Renewables & Environment, 2017.

Recuadro 13: PROYECTO CHARGEFORWARD PARA ALMACENAMIENTO EN BATERÍAS DE SEGUNDA VIDA

El proyecto ChargeForward se llevó a cabo entre 2015 y 2016 e involucró a Pacific Gas & Electric (PG&E) y a BMW en el área de la bahía de San Francisco, California. El objetivo era demostrar el potencial de los VE para participar en eventos de respuesta a la demanda. Para ello, se le pidió a BMW que proporcionara 100 kW de recursos de la red a PG&E cuando se le solicitara a través de una combinación de carga retardada de 100 vehículos BMW i3 en San Francisco y la extracción de electricidad a la red a partir de un sistema de baterías estáticas de segunda vida construidas con baterías de VE reutilizadas.

El programa comprobó el despacho exitoso de los vehículos BMW en 209 eventos de respuesta a la demanda. Los vehículos contribuyeron al 20 % de la reducción de los kW objetivo, y las baterías proporcionaron el 80 % restante (Figura 22) (BMW y PG&E, 2017). En la segunda fase del programa, BMW ha estado desarrollando la capacidad de alinear la carga de los VE con la generación eléctrica renovable utilizando las predicciones de PG&E (Pyper, 2018).

Figura 22: Proyecto de BMW y PG&E Desempeño del vehículo según meta (100 kW)



Fuente: BMW y PG&E, 2017.



a las fluctuaciones de las ventas de VE, reducir el inventario, aumentar las tasas de utilización de la fabricación y monetizar la batería después del uso inicial. Ya se han comercializado varios productos para clientes residenciales (optimización inteligente del hogar) basados en baterías de segunda vida, mientras que las aplicaciones más avanzadas están en fase de demostración (Tabla 15 y Recuadro 13).

Las estaciones de intercambio de baterías podrían utilizarse de manera similar con una gama completa de aplicaciones. Los estudios muestran que, aunque los comportamientos de carga de las estaciones de intercambio de baterías se verán muy afectados por las múltiples demandas de intercambio de baterías de las flotas de VE como los taxis, que cambiarían las baterías varias veces al día, las crecientes flotas de VE y las estaciones de intercambio de baterías podrían limitar la fluctuación de la carga y la diferencia de carga entre valles y picos (Rao *et al.*, 2015).

VE equipada para una interacción inteligente con la red eléctrica seguirá siendo clave para la revolución de los VE, así como para maximizar las sinergias con los sistemas de electricidad basados en ERV. Para llevar los nuevos modelos de negocio de VGI desde los pilotos hasta su pleno despliegue, los proveedores y agregadores de servicios energéticos inteligentes tendrán que ser capaces de acumular valor para incorporar los VE a sus programas de respuesta a la demanda, lo que podría ser especialmente relevante para la gestión de la flota.

Diseño de mercado y regulación para la integración red a vehículo

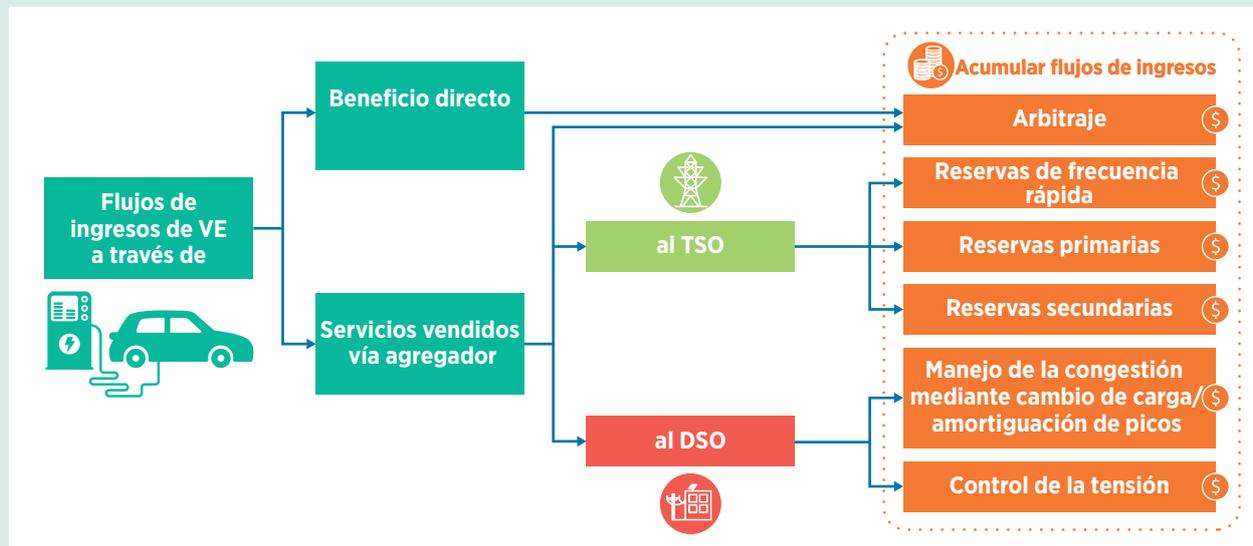
La carga inteligente no ocurrirá por arte de magia sin los incentivos adecuados en forma de señales dinámicas de precios, y la V2G no se materializará sin la posibilidad de «acumular los ingresos» de múltiples corrientes de ingresos, proporcionando flexibilidad tanto a nivel del

4.3 Regulación para integración vehículo-red (VGI) Mercados de electricidad

Las barreras para la adopción de VE se están reduciendo progresivamente a medida que los costos de la tecnología disminuyen drásticamente. Sin embargo, el despliegue y la ampliación de la infraestructura de carga de los

Debería evitarse la duplicación de los cargos para la carga de V2G, es decir, las tarifas por la carga del vehículo y las tarifas por la inyección de energía a la red. Los impuestos y los cargos de la red deben aplicarse solo a la energía neta transferida a los fines del manejo.

Figura 23: Posibles flujos de ingresos de VE que pueden ser acumulados



Adaptado de Chase, 2016; Bach Andersen, 2019

Los modelos de negocios con agregadores facilitan el uso de VE como fuente de flexibilidad. Para que los servicios de suministro de energía eléctrica con VE sean viables a nivel mayorista (por ejemplo, a través de la provisión de amortiguación de picos y servicios complementarios), deben comercializarse capacidades de al menos 1 MW a 2 MW. Esto requeriría la agregación de unos 500 VE.

sistema como a nivel local, como se ha explicado antes en la figura 12 y se muestra en la figura 23.

Esto no sucederá sin el buen funcionamiento de los mercados de electricidad. Hoy en día no siempre existen mercados mayoristas y minoristas competitivos, ni siquiera en los mercados emergentes de la movilidad eléctrica. En algunos países existen mercados mayoristas de electricidad, pero a menudo faltan mercados competitivos de servicios de compensación/auxiliares y mercados minoristas, es decir, que siguen siendo servicios regulados ejecutados centralmente por un operador de los sistemas de transmisión.

Incluso en los casos en que existen mercados, será necesario desarrollar su diseño y ajustar la reglamentación para ofrecer incentivos para la valoración de los servicios de red de los VE, entre otros:

- Ajuste de los umbrales de mercado y las condiciones de acceso para los diferentes segmentos mayoristas: incluso en los mercados que permiten explícitamente el acceso de la agregación, los requisitos mínimos de capacidad y disponibilidad para los principales servicios de la red siguen estando diseñados para las centrales eléctricas a gran escala.
- Evitar la doble carga de almacenamiento para la red que penaliza tanto a las baterías V2G como a las de segunda vida: el pago por inyección a la red ya ha sido reconocido como una barrera por los legisladores de la UE, y el llamado Paquete de Energía Limpia (CEP) propone eliminarlo.
- La normativa desactualizada que prohíbe la reventa de electricidad de la red sin un proveedor debería actualizarse de modo que incluya los VE.

En cuanto a la distribución, a menudo no se permite a los operadores de la red local gestionar la congestión de sus redes de otra forma que no sea reforzando la placa de cobre. La inversión en redes inteligentes y medidores inteligentes será de importancia clave, aunque todavía no se ha adoptado en todas partes del mundo. El desarrollo de mercados locales de flexibilidad es necesario para dar un valor monetario a la contribución de la carga inteligente a la optimización de la red de distribución y a la eliminación de los cuellos de botella en la distribución. Excepto quizás para aplicaciones de nicho, esto no sucede actualmente en casi ningún mercado (pero el CEP también propone

Permitir que las baterías de los VE ofrezcan diferentes servicios al sistema eléctrico, lo que posibilita la acumulación de servicios e ingresos.

abordar esto). Es necesario incentivar a los operadores de los sistemas de distribución para que utilicen los cargadores de vehículos eléctricos como recursos energéticos distribuidos en lugar de construir nuevas líneas/ capacidad de transformación.

Con el tiempo, los conductores de VE podrían ser capaces de proporcionar flexibilidad a los mercados mayoristas/ de compensación, así como a nivel de distribución. Las señales de precios locales y la información de localización en las licitaciones lo permitirían.

Las baterías de VE pueden ofrecer la respuesta rápida necesaria para algunos servicios complementarios, pero su capacidad eléctrica es limitada; por lo tanto, un único VE no puede ofrecer estos servicios por el periodo de tiempo que necesita el sistema eléctrico. Sin embargo, cuando se suman los VE, pueden complementarse entre sí, y dar como resultado una planta de energía eléctrica virtual con una respuesta rápida y la capacidad de brindar servicios para el periodo necesario.

Planes de fijación dinámica de precios que incentivan la carga inteligente y las sinergias con las ERV

A nivel minorista, no siempre se permite que los precios fluctúen según la oferta y la demanda del sistema. Esta cuestión no es solo técnica sino también políticamente delicada en los países que regulan los precios de la electricidad, manteniéndolos a veces por debajo del valor de mercado. Aunque no fuera así, las tarifas «fijas» suelen ser más populares incluso en los mercados minoristas liberalizados, ya que son fáciles de entender para los consumidores. Sin embargo, con las tarifas fijas no hay ningún incentivo para la carga inteligente en absoluto.

Los planes de fijación de precios/tarifas que incentivan la carga inteligente son una buena práctica que ya se ha introducido en varios países. Estos planes básicamente clasifican los vehículos eléctricos como una categoría de carga separada. Por lo general, la diferencia de precio entre los períodos de alta y baja demanda es mayor que la ofrecida en las tarifas tradicionales por tiempo de uso. El objetivo es asegurar que los VE se carguen durante las horas de menor demanda y no contribuyan a los picos de demanda. Varias empresas de servicios públicos, principalmente en los Estados Unidos, han adoptado tarifas de carga doméstica de VE, ofreciendo precios de carga hasta un 95 % más bajos por la noche en comparación con el día (BNEF, 2017e).

Algunas empresas de servicios públicos/minoristas también han empezado a ofrecer planes de "carga verde de VE" para aprovechar el hecho de que el 28-40 % de los propietarios de vehículos eléctricos también tienen energía solar en sus casas, en comparación con el 1 % de penetración solar en la población general (Shahan, 2017). Por ejemplo, Great River Energy, con sede en Minnesota, permite a los clientes miembros cargar sus VE con un 100 % de energía eólica sin costo adicional por encima de las tarifas estándar y fuera de las horas punta (Deloitte, 2017). OVO Energy, en el Reino Unido, ofrece a los propietarios de VE un 100 % de electricidad renovable tanto para su vehículo como para su hogar (OVO Energy, 2018).

El organismo regulador británico Ofgem también ha lanzado el debate sobre el ajuste de los cargos de red regulados para los hogares y las empresas más pequeñas que deseen consumir mucha más energía en las horas punta, con la reforma propuesta para 2022 (Holder, 2018b).

Estandarización

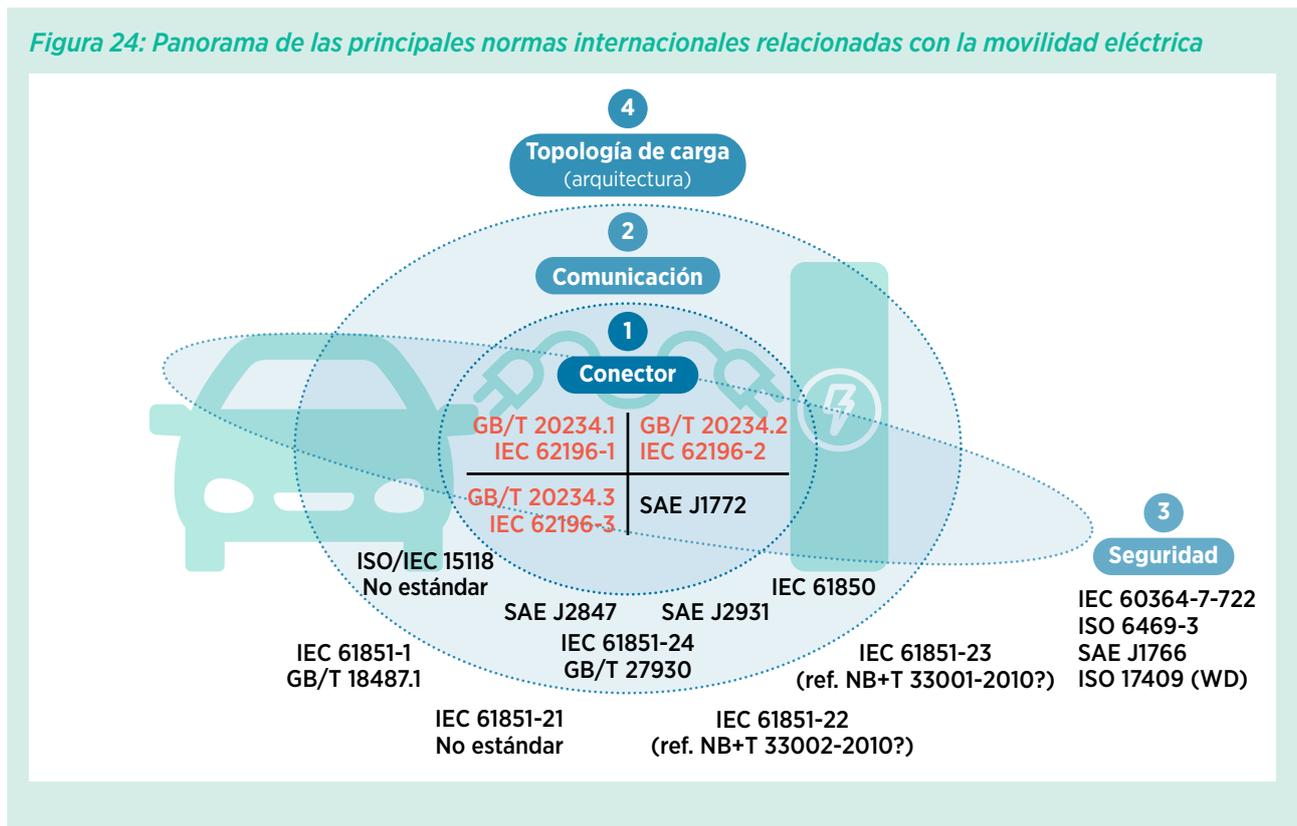
En la actualidad, solo unas pocas estaciones de carga (tanto domésticas como públicas) están habilitadas para la red inteligente (Deloitte, 2017), y muy pocos automóviles admiten V2G. El aumento de la penetración de los vehículos eléctricos intensificará la necesidad de contar con normas comunes para la infraestructura de

carga y soluciones interoperables entre las estaciones de carga, las redes de distribución y los VE. La interoperabilidad es clave no solo para evitar el bloqueo del proveedor de la infraestructura de carga, sino también, para permitir la conectividad rentable de los VE con diversas infraestructuras y mediciones de carga.

Por estos motivos, la estandarización es crítica para facilitar la penetración de los VE y de la infraestructura de carga y su interacción con la red de energía. La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) y la Organización Internacional de Normalización (ISO) publicaron varias normas a nivel mundial y las transpusieron en versiones supranacionales y nacionales. En la Figura 24 se presenta una síntesis de las principales normas internacionales y su ámbito de aplicación para los VE.

La serie IEC 61851-3, publicada para los vehículos eléctricos ligeros, se centra en los requisitos de los sistemas de alimentación conductiva de CA y CC, los sistemas de intercambio de baterías y las comunicaciones. El trabajo de la IEC, ISO y sus representantes locales es una actividad continua. Las normas existentes se actualizan periódicamente para seguir la evolución de la movilidad eléctrica, y se están preparando nuevas normas. Además de las normas oficiales, se han elaborado (o se están elaborando actualmente) varios protocolos por parte de agentes privados que tratan de crear normas industriales a través de alianzas. Esto permite a menudo obtener una

Figura 24: Panorama de las principales normas internacionales relacionadas con la movilidad eléctrica



estandarización más rápida, aunque puedan coexistir varias normas industriales. Este es el caso, en particular, de la comunicación entre los diferentes actores de una estación de carga.

Para poner en práctica la carga inteligente unidireccional (VIG), las estaciones de carga deben incluir las siguientes funciones:

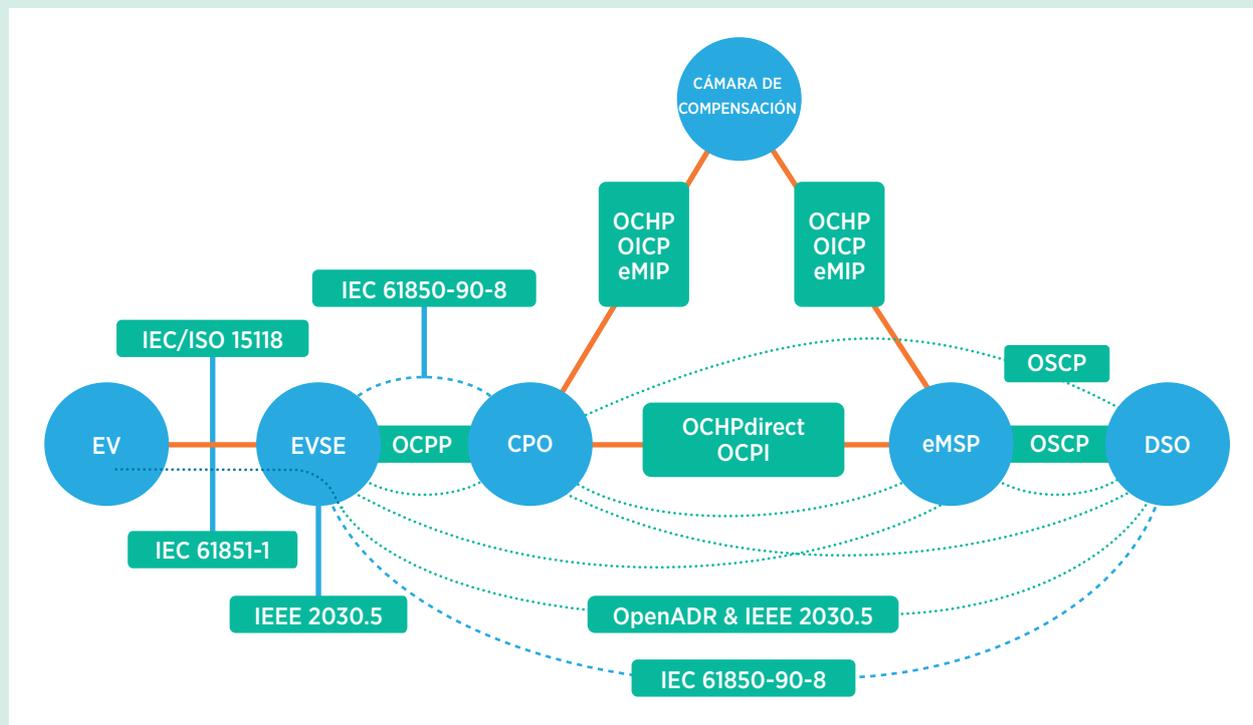
- Un sistema de carga que permita un cierto nivel de control que incluya la variación de la corriente de carga: desde el relé programable (control local de bucle abierto) hasta el punto de carga con posibilidad de modulación de la corriente, incluyendo un punto de carga simple con comunicación de Protocolo de Punto de Carga Abierto (OCPP) (estación de carga para obtener señal sobre la capacidad de la red) y arranque/parada a distancia.

Si bien muchas de las estaciones de carga actuales no pueden variar la corriente de carga, la aplicación del OCPP -que regula el intercambio entre la estación de carga y el operador de la estación de carga- debería ayudar a superar esta situación. Además, la comunicación podría ser adecuada entre el operador

de la estación de carga inteligente y el usuario del VE, algunos medidores de energía y un agregador. El OCPP y los otros protocolos más importantes (Protocolo de Cámara de Compensación Abierta (OCHP), Protocolo de Intercarga Abierta (OICP), Interfaz de Punto de Carga Abierto (OCPI), Protocolo de Estado de Certificado en Línea (OCSP) y Respuesta a la Demanda Automatizada Abierta (OpenADR)) se mencionan en la Figura 25, con su posición en la cadena de comunicación. Se están combinando con varias normas oficiales.

- Sistemas de medición de energía: pinza de corriente o medidor inteligente u otro medidor con funciones de lectura automática y transferencia de datos.
- Para la gestión de la energía en circuito cerrado: comunicación entre el punto de carga y una gestión de la energía - solución local con protocolo estándar (*por ejemplo*, Zigbee, Modbus, Bluetooth) o dedicado, o solución remota (*por ejemplo*, OCPP) para el control por la plataforma de puntos de carga.
- Interfaz de usuario: una pantalla local en el punto de carga, una aplicación web o móvil remota, para el usuario del VE o el administrador del sitio.

Figura 25: Resumen de los protocolos de comunicación en la movilidad eléctrica



Nota: VE = vehículo eléctrico; EVSE = equipo de carga de vehículo eléctrico; CPO = operador de punto de carga; eMSP: = proveedor de servicio de movilidad eléctrica; DSO = operador del sistema de distribución

Fuente: V2G Clarity, 2017.

La estandarización también facilitará la difusión de la tecnología V2G y V2X (que actualmente tiene un costo de interfaz de 3 a 5 veces superior al de la carga inteligente unidireccional). Estas formas más complejas de carga inteligente requieren:

- Estaciones de carga bidireccionales: hoy en día solo se dispone de una limitada infraestructura de (des)carga en el mercado (*por ejemplo*, Nichicon, IKS, Magnum Cap).
- Automóviles que pueden descargar (no solo cargar): la mayoría de las iniciativas de V2X están implementando una solución externa (convertidor CA/CC situado en el punto de (des)carga). Esto es así desde que la Asociación japonesa CHAdeMO publicó el primer protocolo de comunicación bidireccional (carga/descarga), como extensión de su protocolo de carga de CC que es implementado, por ejemplo, por Nissan y Mitsubishi. Se están llevando a cabo trabajos de estandarización a nivel mundial en el contexto de la norma IEC/ISO 15118 Ed2 para las soluciones de descarga a bordo (cuya finalización está prevista para 2019).

La solución de descarga a bordo de la Asociación CHAdeMO basada en la directriz V2H en Japón también se está estandarizando en el marco de la norma IEC 61851-23/24 Ed2 (sistemas de carga conductiva para VE). La descarga a bordo ya está en desarrollo o propuesto por Renault y BYD, respectivamente. Esto permitiría un uso más amplio de la V2X, ya que podrían utilizarse también los puntos de carga de CA de menor costo y más extendidos para la descarga. Sin embargo, esto requeriría algunos ajustes técnicos en las soluciones de carga de manera que se ajusten a la norma IEC/ISO 15118 y también requeriría que los VE llevaran componentes adicionales, lo cual sería un agregado en términos de costos y peso al vehículo.

- Una forma estandarizada de conocer el estado de carga del vehículo: actualmente no está disponible, lo que hace que la carga inteligente y el V2X sean más

complicados. Existen soluciones alternativas, como el uso de una aplicación patentada de un proveedor de vehículos, pero requiere el uso de un conector de software de carga inteligente ad hoc.

- IEC 63110: actualmente en desarrollo, esta norma internacional define un protocolo para la gestión de la infraestructura de carga y descarga de VE. Es un grupo de normas para vehículos eléctricos de carretera y camiones industriales eléctricos que trabaja en la normalización de la norma de comunicación OCPP y la compatibilidad de otras normas internacionales (*por ejemplo*, CCS, CHAdeMO).
- La norma IEC 61850 define los protocolos de comunicación para los dispositivos inteligentes y las subestaciones eléctricas. Aún no se ha implementado en vehículos. Existe un borrador de una actualización del estándar que permitirá una carga inteligente más estandarizada y V2X.

La aceptación internacional de estos estándares será clave para la difusión de esta tecnología más allá de los mercados europeos y estadounidenses más desarrollados, donde la mayoría de las nuevas estaciones de carga ya están siendo adquiridas con esta tecnología. Por ejemplo, en los Países Bajos, los socios de Living Lab Smart Charging (325 municipalidades, Allego, ChargePoint, EVBox, etc.) acordaron instalar solo estaciones listas para carga inteligente lista para las nuevas estaciones públicas. Las estaciones más viejas se están reacondicionando progresivamente para que sean inteligentes. En noviembre de 2017 había 7500 puntos de carga inteligentes listos para cargar (semi)públicos, con licitaciones para otros 7000 puntos más listos para la carga inteligente (Living Lab Smart Charging, 2017). En otros mercados, este no es el caso que prevalece.

En otras partes del mundo (por ejemplo, en la India), se exigirá la aplicación de normas mundiales de VE (o normas nacionales basadas en normas mundiales) (Ghatikar *et al.*, 2017).

Si las capacidades necesarias se integran cada vez más en las estaciones de carga y en los vehículos, y si se ponen en marcha acciones comunes para establecer normas, la carga inteligente pasará de ser una promesa a una práctica para 2030.

5. PERSPECTIVAS DE LA MOVILIDAD ELÉCTRICA

En esta sección se presenta un panorama del mercado de los vehículos eléctricos, su evolución y las tendencias del transporte que afectan la disponibilidad de los VE para contribuir a la integración de la energía renovable.

Los VE enchufables incluyen todos los vehículos motorizados que puedan recargarse desde fuentes de electricidad externas.

- El vehículo eléctrico a batería (BEV) completamente solo depende de la electricidad de la red.
- El híbrido enchufable (PHEV) combina una batería recargable con un motor de combustión interna.
- El vehículo eléctrico con extensor de autonomía (REEV) es en principio un automóvil eléctrico, ante la ausencia de infraestructura de carga, es posible usar un pequeño motor de combustión para cargar la batería y prolongar la autonomía. Los PHEV y los REEV suelen ser considerados una única categoría.

5.1 Costo y competitividad de los VE

Hasta ahora, el factor más importante que ha llevado a una disminución sustancial de los costos de los VE en los últimos años es la disminución de los costos de las baterías. Las mejoras en las tecnologías de las baterías han reducido el precio promedio de los paquetes de baterías de USD 1000/kWh en 2010 a unos 200 USD/kWh en 2017 (UCS, 2017). Los analistas prevén una nueva disminución del precio hasta niveles de USD 100/kWh en 2025 (McKinsey, 2014), que a su vez haría que los vehículos eléctricos pudieran competir con los vehículos con MCI. Como regla general, esta paridad del costo total de propiedad entre VE y vehículos a gasolina convencionales se alcanzará con precios de baterías de alrededor de EUR 175/kWh (UCS, 2017).

Otro factor destacado que ha contribuido a reducir los precios de los VE a lo largo de los años es la creciente variedad de modelos ofrecidos en el mercado. Mientras que en 2010 los primeros clientes interesados en VE podían elegir entre unas pocas opciones limitadas, como el Nissan LEAF, el Citroën C-Zero, etc., hoy en día la gama de modelos es más amplia, y ofrece a los compradores diferentes opciones de vehículos en cuanto a precio,

autonomía, tren de potencia, paquete de baterías y consumo. A medida que se incorporan más modelos al abanico de opciones, el mercado se ha vuelto más competitivo y los precios de los VE han bajado.

Los VE tendrán que llegar casi a la paridad con los vehículos con MCI en términos de costo inicial, y ofrecer suficientes comodidades (como autonomía de conducción y comodidad de recarga) para que los consumidores no los consideren inferiores o comparables con los vehículos con MCI.

Comparación del costo total de propiedad

El costo total de propiedad (TCO) evalúa todos los costos en los que incurre el propietario de un vehículo a lo largo de su vida útil. Incluye el costo de compra del vehículo, el costo del uso y su valor de reventa. Cada vez que se realiza un análisis de TCO, también se tienen en cuenta los impuestos y los incentivos para la compra específicos de cada región bajo estudio.

La comparación económica demuestra que tanto los vehículos a gasolina como aquellos a diésel son más competitivos que los VE para la mayoría de los usuarios (principalmente por su consumo anual de combustible). Una implementación fuerte de incentivos monetarios, como la exención de impuestos, en una región puede modificar la elección entre un VE y un vehículo diésel, tal como se muestra en el Anexo 4.

Es probable que los VE alcancen la paridad del TCO con ambos combustibles para 2030, dependiendo en parte de los precios del petróleo. Se esperan disminuciones sustanciales en el TCO para los próximos años. El ritmo exacto de la paridad del TCO dependerá de la ubicación, la distancia anual recorrida y el consumo del vehículo.

El principal impulsor será una nueva disminución en el gasto de capital (CAPEX) de las baterías. Mientras que todos los otros costos de los VE son esencialmente fijos, los costos de las baterías están cayendo rápidamente. En 2016, una batería promedio costaba alrededor de USD 275/kWh. Se espera que caiga a USD 100/kWh en 2025, y las predicciones más optimistas lo colocan en USD 60/kWh en 2030 (BNEF, 2017a).

En la Figura 26 se muestra cómo podría evolucionar el TCO de los vehículos diésel y los VE podría hasta 2050. El gráfico, si bien es ilustrativo, pretende destacar que a mediano plazo (segunda mitad del decenio de 2020) los vehículos eléctricos acabarán siendo más competitivos que los vehículos diésel, incluso sin considerar subsidios e impuestos. Si así fuera, los VE podrían alcanzar una penetración de flota global del 7% (IEA, 2018a).

La continua disminución del TCO se apoya en las mismas tendencias descritas anteriormente y puede fortalecerse con dos observaciones más. Por un lado, debido a los nuevos modelos de negocios de movilidad orientados a las prácticas de uso compartido de automóviles que se prevén para 2050, se producirá un desplazamiento de los automóviles de propiedad privada a los vehículos compartidos (véase la sección 5.3). Esto aumentará inevitablemente la tasa de utilización de los VE a rangos de entre 40 000 y 55 000 km por año y, a su vez, aumentará el ahorro de costos de combustible de los VE en comparación con un automóvil diésel que recorra el mismo kilometraje anual.

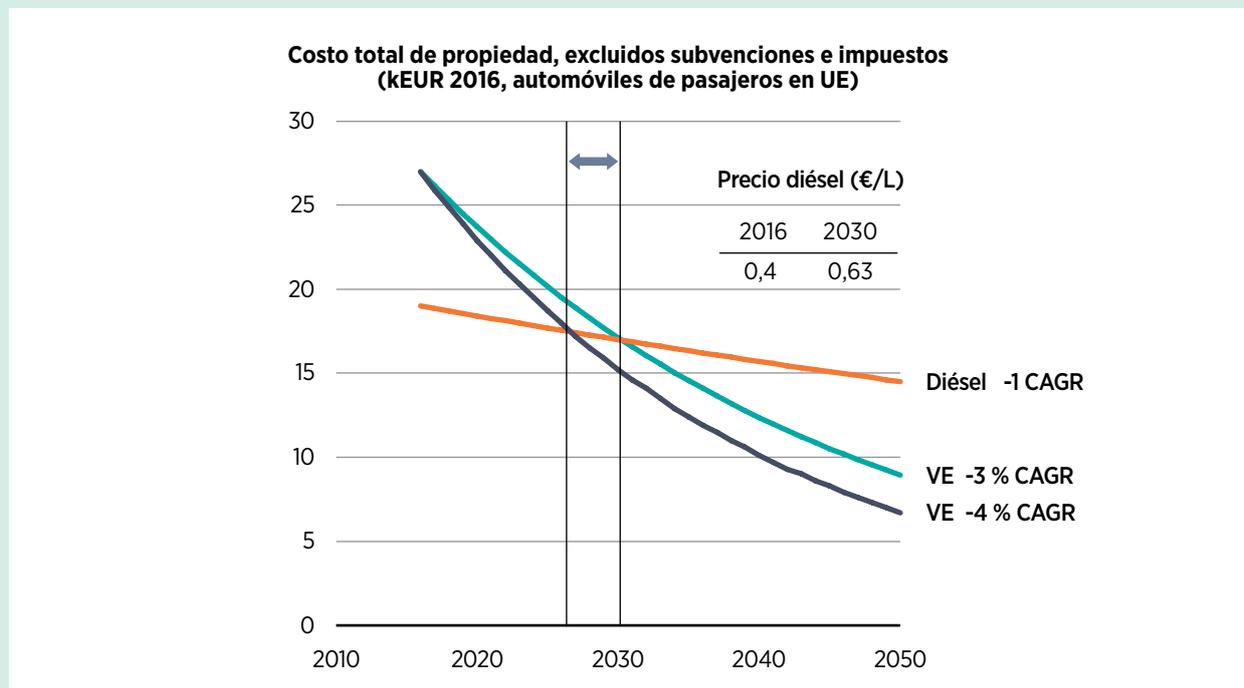
Por otro lado, una variable que se desconoce es la velocidad a la que bajará el TCO de los VE en comparación con los vehículos diésel. Este punto podría verse afectado por la reciente y próxima ola de países que establecen prohibiciones a la venta de vehículos de combustible fósil ya en 2025 (en los Países Bajos) o para 2030 a 2040 (en Francia y el Reino Unido) (Tabla 2).

El Anexo 4 incluye un estudio de caso de la perspectiva del TCO para 2030 para los VE y los automóviles de pasajeros diésel más comunes en Europa.

Evolución de las políticas relacionadas con los vehículos

La evolución de los incentivos a través de políticas para los vehículos eléctricos dependerá de las condiciones locales. Una vez que los VE entren en competencia con los vehículos con MCI, los incentivos monetarios directos pueden ser menos importantes. Entre 2025 y 2029, en muchos países los VE serán competitivos en cuanto a costos, incluso sin subvenciones y antes de tener en cuenta el ahorro de combustible (BNEF, 2017a), lo que reducirá la necesidad de

Figura 26: Perspectivas ilustrativas del costo total de propiedad (TCO) de VE y los automóviles con motor diésel hasta 2050



Basado en BNEF, 2017c; McKinsey, 2014; UCS, 2017.

Los vehículos eléctricos probablemente alcancen la competitividad con los vehículos con MCI entre 2025 y 2030 (según el tipo, la ubicación y los precios del petróleo). Sin embargo, se necesita inicialmente política de apoyo para reducir el costo fijo de los vehículos.

subvenciones. Otra razón para el fin de los incentivos podría ser simplemente que los gobiernos hayan alcanzado sus objetivos, haciendo así que la búsqueda de los incentivos a través de políticas sea obsoleta.

Sin embargo, las importantes variaciones entre las regiones repercutirán en los plazos para la eliminación gradual de los incentivos. Aunque se prevé que las ventas de vehículos eléctricos aumenten rápidamente en los principales mercados automovilísticos, el crecimiento mundial dista mucho de estar distribuido de manera uniforme. Tales divergencias ya han empezado a aparecer a medida que han surgido focos de crecimiento, con tasas de penetración significativas en países como China, los Países Bajos, Noruega y los Estados Unidos.

También podría ser necesario un apoyo temporal para la electrificación en sistemas específicos como las islas. Fiyi y Sri Lanka ya han estado incentivando los automóviles híbridos mediante la reducción de los impuestos sobre estas tecnologías. Jamaica ha considerado incentivos similares para los VE.

Con una mayor participación en el mercado de los VE a lo largo del tiempo, la pérdida de ingresos por los incentivos tradicionales -que incluyen principalmente exenciones y créditos fiscales- puede llegar a ser importante, y los gobiernos pueden verse tentados a recurrir cada vez más a métodos alternativos para promover la movilidad eléctrica. Es probable que los objetivos de transporte sigan siendo relevantes para impulsar la descarbonización del sector.

5.2 Perspectivas para las baterías

Algunos de los principales desafíos que los VE tendrán que enfrentar en las próximas décadas yacen en sus baterías. Los años 2030 y 2050 pueden ver avances en otras tecnologías de baterías que no sean de iones de litio y en su uso para aplicaciones de red.

La evolución de la química de las baterías afectará no solo los aspectos de la movilidad, como la autonomía de conducción, sino también la velocidad de carga (también relacionada con las necesidades de refuerzo de la infraestructura de la red eléctrica) y la capacidad de las baterías para prestar servicios de red.

A pesar de la alta densidad de energía y de su idoneidad para las aplicaciones de movilidad y de red (véase el anexo 4 para más detalles), la tecnología de iones de

litio tiene limitaciones en cuanto a la seguridad y la disponibilidad futura de este elemento (y probablemente también del cobalto), así como los posibles efectos relacionados en los costos. La mejora de los parámetros de seguridad de cualquier subquímica de iones de litio conduciría a su vez a un deterioro del rendimiento (en particular de la densidad de energía). Cabe esperar que el costo disminuya en los próximos años. Pero al igual que el plomo en el pasado, alcanzará un valor estable. Solo un cambio en la tecnología (como con el ion de sodio para el costo o el flujo redox para la seguridad) puede cambiar estas cuestiones, incluso si el ion de litio (con fuertes ventajas hoy en día) fuera difícil de desplazar.

Para hacer frente a los desafíos de la movilidad eléctrica -como la energía, la distancia recorrida y el tiempo de carga- se necesitan nuevas tecnologías de baterías. A pesar de las importantes investigaciones en curso sobre el ion de litio, otras tecnologías presentan un gran potencial y también se están desarrollando.

En la figura 27 se presentan las perspectivas de las tecnologías de baterías hasta 2030 y 2050, respectivamente. Si bien es probable que la tecnología de ion de litio siga siendo la predominante hasta 2030, los posibles avances en otras tecnologías pueden conducir a su reemplazo en el horizonte a largo plazo.

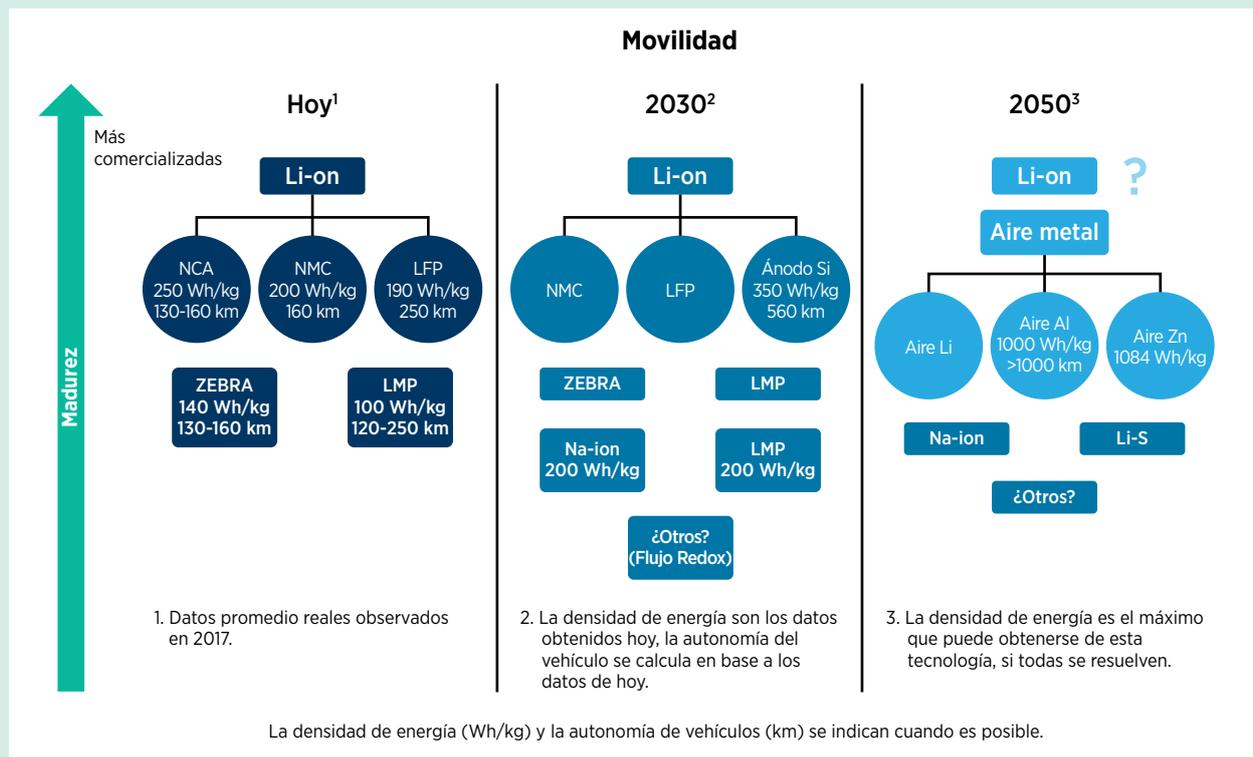
Dos tecnologías que ya se han comercializado -por ejemplo, como tecnologías menores en los autobuses eléctricos durante unos 10 años- son las tecnologías de baterías de Zeolita Research Africa (ZEBRA) y de baterías de litio-metal-polímero (LMP).

Actualmente se están desarrollando otras tecnologías con niveles de madurez más bajos (solo se venden celdas, no sistemas) y podrían marcar una diferencia si se resuelven sus problemas, entre ellos:

- Sistemas de iones de litio con silicio (Si) como electrodo negativo
- Sistema de litio-azufre (Li-S)
- Baterías de iones de sodio (ion de Na), que están aumentando el interés debido al bajo costo potencial y a su compatibilidad con el medio ambiente.
- Baterías de metal-aire, incluyendo aluminio-aire (Al-aire) y zinc-aire (Zn-aire)
- Baterías de flujo redox para aplicaciones de movilidad.

En el anexo 4 se ofrece una descripción más detallada de estas tecnologías.

Figura 27: Perspectivas de las tecnologías de las baterías en comparación con su madurez actual



La predicción de las tecnologías de baterías para 2050 sigue siendo difícil. Sin perjuicio de esto, los aumentos previstos en la densidad de energía de las baterías conducirán a que tengan una mayor capacidad y a mejoras en la cantidad de energía que podría almacenarse o liberarse de acuerdo con las necesidades del sistema eléctrico. Los vehículos con baterías de 200 kWh (1000 km) pueden pasar de la promesa a una práctica más extendida.

5.3 Movilidad eléctrica compartida Movilidad como servicio

Las cambiantes necesidades de movilidad llevarán al surgimiento de modelos de negocios que podrían transformar los sistemas de movilidad en las próximas décadas. La eliminación de los puntos débiles que enfrentan los viajeros durante sus viajes podría ser una oportunidad crucial para que las nuevas empresas atraigan a los clientes. Ya hay un nuevo concepto allanando el camino para que surjan estas oportunidades de negocios, mediante el cambio de un enfoque del transporte centrado en la propiedad a opciones de movilidad que se consumen como un servicio. Esta movilidad centrada en el servicio recibe el nombre de movilidad como servicio (MaaS).

La movilidad como servicio es una forma de combinar sin problemas las alternativas de transporte de diversos proveedores (incluidos los proveedores de movilidad compartida, pero más allá). La MaaS va más allá de calcular el camino más rápido de un lugar a otro, y en su lugar ofrece una tienda única para todo, desde itinerarios de viaje

optimizados hasta pagos. La oferta de la MaaS consiste en cuatro funciones complementarias: planificación del viaje, reserva, pago y emisión de billetes/facturas.

Sin embargo, la movilidad como servicio está lejos de ser lograda todavía. Para satisfacer las necesidades de movilidad de miles de clientes, la MaaS requerirá amplios análisis, modelización de la movilidad y compras de datos junto con el desarrollo de una cartera completa de operadores de transporte para asegurar que todos los usuarios encuentren un viaje a tiempo. Para hacer realidad esta visión, es esencial la aparición de nuevos actores.

En el centro del diseño de la MaaS hay cuatro actores principales, cada uno con un papel clave en la oferta de MaaS. Estos actores son los clientes, los proveedores de MaaS, los proveedores de datos y los operadores de transporte. Aunque los clientes han adoptado progresivamente nuevas posibilidades de movilidad en el último decenio, y aunque en muchos países ya existen operadores de transporte, los proveedores de MaaS y los proveedores de datos siguen siendo casi

inexistentes. En la siguiente sección y en la figura 28 se aclara el valor que cada paso de la cadena de valor ofrece al cliente.

Para empezar, los proveedores de MaaS permitirán a los clientes reservar y planificar viajes de puerta a puerta utilizando una sola aplicación. Para ello, proporcionarán un software que incorporará un motor de pago sin dinero en efectivo, una función de emisión de billetes, así como una herramienta de planificación de viajes. Para apoyar estos servicios, los proveedores de MaaS necesitarán construir un poderoso motor de análisis - para determinar cómo asignar los recursos en el momento de mayor demanda, y para anticiparla. Además, la construcción de una amplia red de operadores de transporte, tanto públicos como privados, será vital para ofrecer las soluciones que mejor se adapten a las preferencias de movilidad de sus clientes.

Hacer realidad el MaaS también requeriría recoger un gran volumen de información en tiempo real sobre miles de clientes. Por lo tanto, se necesitan proveedores

de datos. Ellos accederán y agregarán datos de varias fuentes, los analizarán y los revenderán al proveedor de MaaS. Si bien un proveedor de MaaS supuestamente también podría desempeñar este papel, la complejidad de cada tarea y la sensibilidad de cuestiones como la privacidad de los datos y las leyes antimonopolio podrían impedir que un solo actor cumpliera todas estas funciones por sí solo (Catapult, 2016).

Por último, y de vital importancia para cualquier ecosistema MaaS, los operadores de transporte suministrarán la capacidad de transporte a los proveedores de MaaS. Aunque son visibles y numerosos, estos proveedores forman solo una parte del nuevo ecosistema de movilidad. Los operadores de transporte van desde trenes públicos a servicios de bicicletas compartidas. Estos proveedores de transporte son más de los que conocemos hoy. Un cambio en la propiedad de la relación con los viajeros puede ser la diferencia más significativa en el modelo de negocios, ya que los viajeros tratan con el proveedor de la MaaS en lugar de con el operador del transporte.

Figura 28: Cadena de valor simplificada de la movilidad como servicio



Los nuevos modelos de negocios de MaaS incluyen proveedores de movilidad como servicio integrados que se encargan de encontrar la mejor ruta posible según la petición del cliente, reservan el viaje y luego facturan todo en una sola factura. Los proveedores de datos permiten a los proveedores de MaaS ofrecer experiencias y proveedores de transporte realmente adaptados (basándose en la gestión de flotas como se conoce hoy en día).

5.4 VE autónomos

Los servicios tecnológicos para compartir viajes y automóviles están modelando nuevas formas de trasladar grupos de personas de un lugar a otro. Se espera que la electrificación de los vehículos y el advenimiento de automóviles autónomos aceleran en gran medida la adopción de la movilidad compartida y, con el tiempo, de la MaaS.

Debido a que la transición de la propiedad privada a la propiedad empresarial significa un mayor kilometraje diario, es posible esperar que los proveedores de transporte no solo compren los vehículos más baratos, sino que también tengan en cuenta los que no sean demasiado caros a largo plazo. Como la electricidad seguirá siendo mucho más barata que el diésel o la gasolina durante el próximo decenio y dado que los VE emitan menos gases de efecto invernadero y menos material particulado en un contexto en el que los reguladores quieren garantizar la calidad del aire en las ciudades, es muy probable que los administradores de flotas favorezcan a los VE por encima de los vehículos con MCI.

Además del crecimiento de los VE, el surgimiento de los vehículos eléctricos impulsará el desarrollo de los MaaS. Aunque los vehículos autónomos no son esenciales para el desarrollo de la MaaS, podrían transformarse en una poderosa palanca de crecimiento en el ecosistema de la movilidad sin fisuras. Entre las principales ventajas que pueden ofrecer los vehículos autónomos se encuentran las siguientes:

- Más vehículos autónomos significarían más tiempo para los usuarios finales, y esto permitiría a los pasajeros concentrarse en otras tareas mientras «conducen».
- Los vehículos autónomos harían más eficiente el tráfico, ya que se les permitiría conducir a una velocidad mayor, más cerca unos de otros, con un menor riesgo de accidentes.

- Es muy probable que el surgimiento de los vehículos autónomos disminuya el gasto de funcionamiento de la flota, ya que el salario del conductor representa una gran parte de este gasto.
- Por último, la tendencia hacia la conducción autónoma ayudaría a liberar lugares de estacionamiento, ya que los vehículos autónomos aumentarían la tasa de utilización de vehículos, lo que disminuiría la cantidad de tiempo que pasan estacionados.

Evolución del ADN de los vehículos: Hacia los vehículos autónomos

Los fabricantes de vehículos, autobuses, camiones y, en menor medida, de dos ruedas están desarrollando activamente automóviles conectados y vehículos autónomos. En la Figura 29 se resumen los tiempos esperados para la introducción de los vehículos autónomos en los mercados. Daimler, por ejemplo, anunció públicamente que se centraría en la estrategia CASE (sigla en inglés para las palabras conectados, autónomo, compartido y eléctrico) (Daimler, 2016).

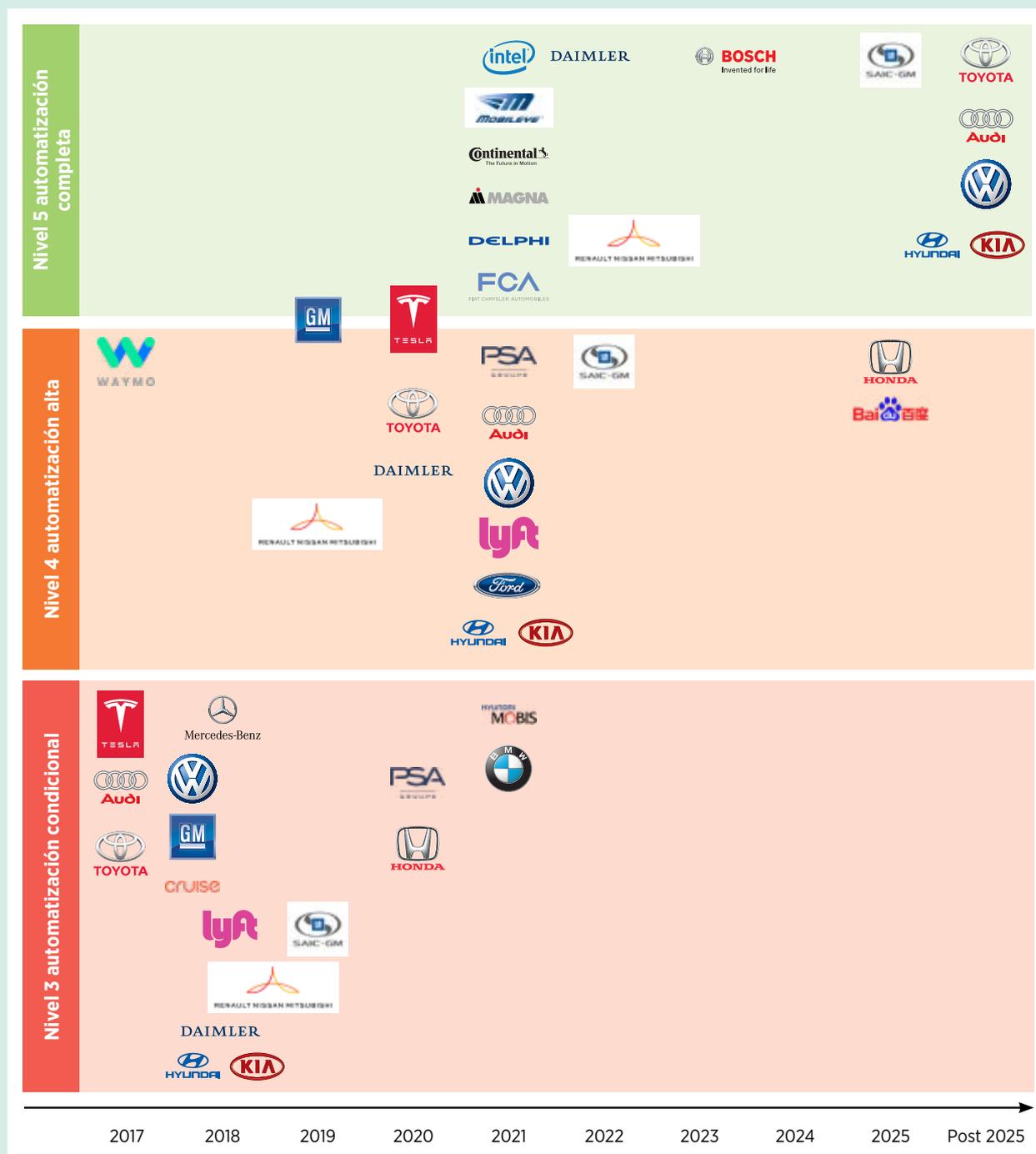
Los vehículos compartidos tienen más sentido con los vehículos eléctricos porque los costos de funcionamiento son más baratos que los de los vehículos de gasolina o diésel comparables, lo que significa que a más kilometraje, más rápidamente se recupera la compra. Los diferentes grados de autonomía, según la clasificación de la Sociedad de ingenieros automotrices, incluyen:

- Nivel 0 (manos y ojos activos): no hay sistema de asistencia activo
- Nivel 1 (manos y ojos activos): guía longitudinal o transversal
- Nivel 2 (ojos y manos temporalmente inactivos): guía longitudinal y transversal (control de tránsito)
- Nivel 3 (manos y ojos inactivos): toma de control a pedido (consciencia para la toma de control)
- Nivel 4 (manos y mente inactivos): sin pedido de toma de control (sin intervención del conductor)
- Nivel 5 (manos libres, conductor libre): sin conductor (Dyble, 2018).

El proyecto de automóviles autónomos lanzado por Google, llamado Waymo, ya ha estado probando automóviles autónomos en la ciudad de Phoenix en los EE. UU., ofreciendo viajes en taxi gratuitos autoconducidos.

Los automóviles conectados pueden comunicarse con el conductor, la infraestructura (vehículo a infraestructura

Figura 29: Fechas de lanzamiento esperadas de vehículos autónomos



Actualizado según BNEF, 2018b

o V2X⁷) u otros vehículos (vehículo a vehículo o V2V). Al comunicarse con el conductor la experiencia se vuelve más conveniente para quien conduce, con servicios como el precalentamiento de los automóviles. Además, también son posibles las funciones de carga inteligente (la capacidad de ver el estado de carga

del automóvil y de programar la carga en momentos más adecuados). V2X y V2V facilitan la conducción autónoma mediante la obtención de información sobre el tráfico y los caminos. Hay muchos pilotos de conducción autónoma. Por ejemplo, en el proyecto SCOOP, Renault está usando tanto V2V como V2X para

7 En este contexto, V2X se refiere a transferencia de información desde el vehículo a la infraestructura. En el contexto carga y descarga, V2X se refiere a la transferencia de energía desde el vehículo a la infraestructura.

permitir la conducción autónoma mediante la reducción de la congestión del tráfico y el aumento de la seguridad. El proyecto comenzó en 2014, y en 2017 ingresó en la fase de despliegue con 1000 vehículos Renault Megan especialmente equipados (Renault, 2017).

Con respecto a los autobuses, Navya y EasyMile ya están proponiendo pequeños vehículos de transbordo que pueden conducir de forma autónoma a baja velocidad en un área bien definida. Los fabricantes de autobuses como Daimler y Proterra también han demostrado interés en los vehículos autónomos. Si bien los camiones eléctricos y autónomos están en un nivel de madurez más bajo, hay posibilidades de que aparezca una tendencia similar. Por ejemplo, Embark está desarrollando tecnología para camiones autónomos, y el semirremolque de Tesla presentado a fines de 2017 también incluirá un piloto automático mejorado (Tesla, 2018). Debido a que Tesla está desarrollando activamente tecnología autónoma para automóviles, su tecnología también puede implementarse en estos camiones.

Hay señales alentadoras hasta la fecha en lo que respecta a los vehículos autónomos, y se espera que el costo de la tecnología disminuya. Aptiv espera que el costo del paquete de hardware y software necesario disminuya de un rango de 70 000 a 150 000 dólares de los EE. UU. en la actualidad a alrededor de 5000 dólares en 2025 debido a los desarrollos tecnológicos y a la mayor demanda (Lienert, 2017). El hardware incluye las unidades de procesamiento de gráficos (GPU) para controlar los vehículos a partir de las entradas procedentes de los sensores (*por ejemplo*, el modelo S de Tesla incluye ocho cámaras de 360°, 12 cámaras de ultrasonidos y radares que pueden «ver» incluso en condiciones climáticas adversas como las lluvias torrenciales). Los datos también pueden provenir de la infraestructura o de otros automóviles (indicaciones sobre atascos o accidentes en las carreteras y mapas). Los automóviles totalmente autónomos necesitan programas informáticos complejos que suelen basarse en técnicas de inteligencia artificial, como el aprendizaje en profundidad.

En un futuro de vehículos de MaaS y autónomos, con importantes demandas de red de los centros de carga, la necesidad de software basado en la IA aumentará aún más. El análisis de los datos y una mayor comprensión de la movilidad ayudarán a los interesados tanto públicos como privados a llevar estratégicamente esta tecnología al mercado de manera que beneficie a los usuarios, al tiempo que se resuelven los principales problemas de

movilidad y se optimiza la red. Aprovechando los cientos de millones de viajes, la disponibilidad y las restricciones de estacionamiento y los datos demográficos, INRIX ha identificado los principales mercados para el despliegue de vehículos autónomos basándose en las pautas de traslado actuales. El uso de estos conocimientos basados en datos para informar la planificación pública permitirá a las ciudades aprovechar de manera proactiva los vehículos altamente automatizados para abordar los principales problemas de movilidad y de la sociedad, en lugar de reaccionar ante los posibles impactos de esta tecnología (INRIX, 2017).

Hacer frente a los desafíos y las preocupaciones en materia de reglamentación de la conducción totalmente autónoma

Los reglamentos centrados en los vehículos autónomos afectan directamente el mercado de los VE. Dado que la tecnología de automóviles autónomos es un mercado menos madura que el de los VE o el de la movilidad compartida, muchos gobiernos no están equipados aún para la operación de este tipo de flotas de vehículos en vías públicas.

Alemania y Japón fueron los primeros países que permitieron la prueba de vehículos autónomos y que aprobaron normas técnicas en las que se exigía a los sistemas totalmente autónomos el cumplimiento de las normas de tránsito. En los EE. UU., varios estados (*por ejemplo*, Arizona, California y Nevada) permiten las pruebas de vehículos autónomos en la vía pública (Karsten y West, 2018). China emitió sus primeras directrices para las pruebas de carretera de vehículos autónomos en 2017 y sus primeras licencias de pruebas en carreteras en 2018 (Bhunja, 2018).

Las inquietudes en materia de responsabilidad, privacidad y seguridad representan un importante obstáculo para la aplicación de las tecnologías de los vehículos autónomos. La evaluación de la responsabilidad en accidentes es un tema particularmente delicado para los organismos reguladores. Pueden surgir problemas éticos cuando se trata de los daños causados por vehículos autónomos (daño a la propiedad o a las personas), ya que los encargados de tomar decisiones tienen que decidir quién será responsable. Ya se están llevando a cabo algunas iniciativas y Alemania, por ejemplo, está considerando la posibilidad de exigir una caja negra que registre si conducía la tecnología o un conductor humano en todos los momentos del

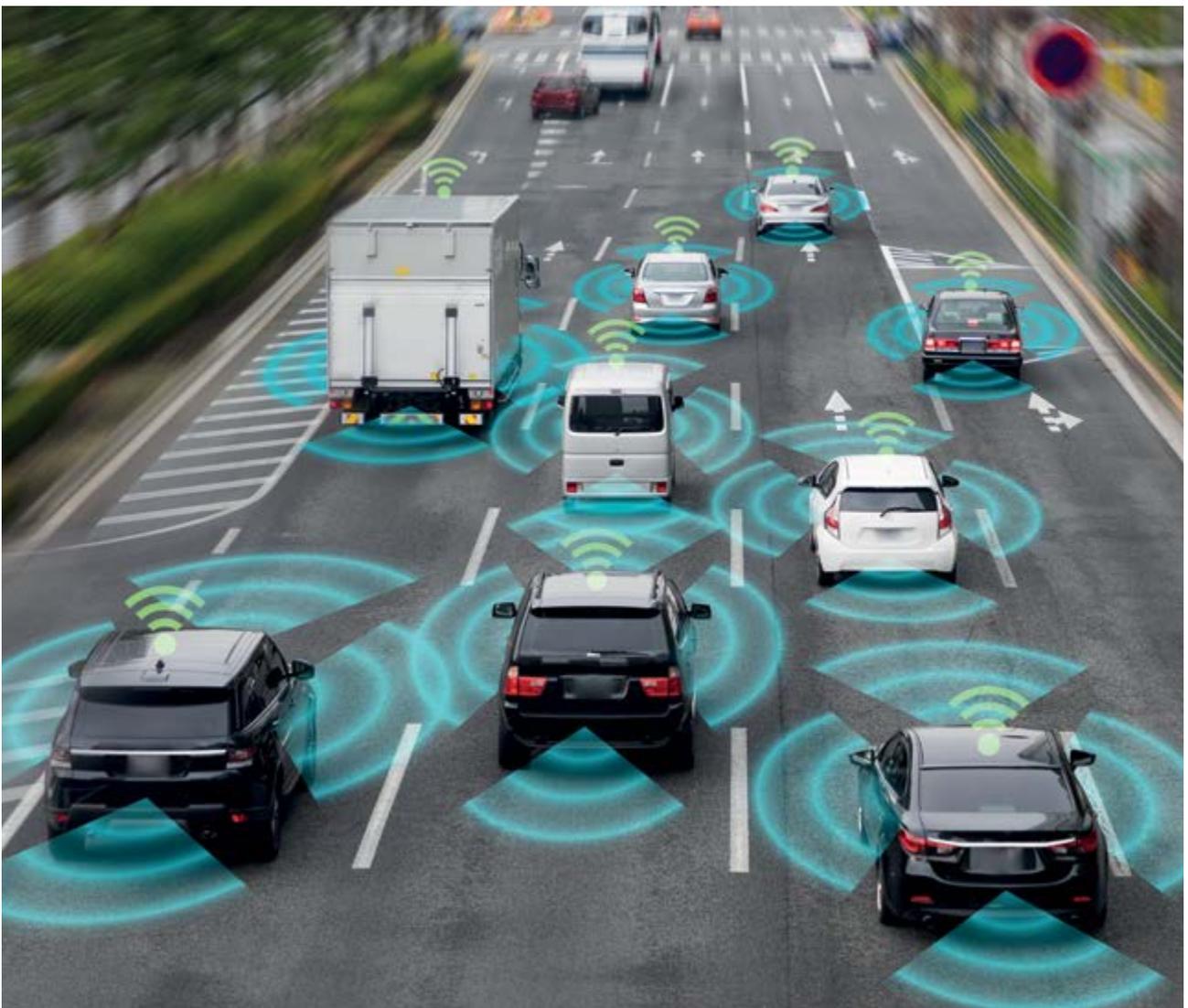
recorrido. No obstante, el conductor y el propietario siguen siendo responsables si el vehículo funciona en modo autónomo.

Los entes reguladores deberían trabajar cooperativamente con otros grupos de interés como fabricantes, conductores y pasajeros para abordar estas cuestiones a fin de que las decisiones éticas se tomen de manera consciente.

También es muy necesario contar con un marco de políticas que regule el acceso y la explotación de los datos, así como su seguridad, antes de la puesta en marcha completa de los vehículos autónomos.

Otra preocupación que surgirá es la pérdida de puestos de trabajo. Los avances tecnológicos provocarán el desplazamiento de la fuerza laboral y de la industria. Los gobiernos tendrán que tomar medidas para prepararse para esas pérdidas. Los encargados de formular políticas podrían regular la cantidad de licencias de taxi que emiten para manejar la reasignación de mano de obra a largo plazo. Al mismo tiempo, podría ofrecerse algún tipo de indemnización por pérdida de ingresos a raíz del desempleo y por tener que cambiar de trabajo.

La mayoría de los modelos de negocios centrados en la movilidad como servicio implican una mayor tasa de utilización de los vehículos que en la actualidad. Además, se puede esperar que surjan grandes proveedores de carga B2B. Estos dos factores tienen consecuencias de gran alcance tanto para las ventas de VE como para la red.



6. IMPACTO DE LA CARGA INTELIGENTE EN EL SISTEMA DE ENERGÍA GLOBAL

Tal como se ha explicado en las secciones anteriores, la carga inteligente será clave para maximizar las sinergias entre los VE y la generación de VRE. Las diferentes estrategias de carga de VE pueden tener impactos algo diferentes según las características del sistema de energía. La fuente dominante de ERV presente en el sistema y los cambios en los patrones de movilidad también afectan a las estrategias para la integración a la red de los VE.

Los aspectos relevantes para el análisis de estos impactos se describen en la Figura 30.

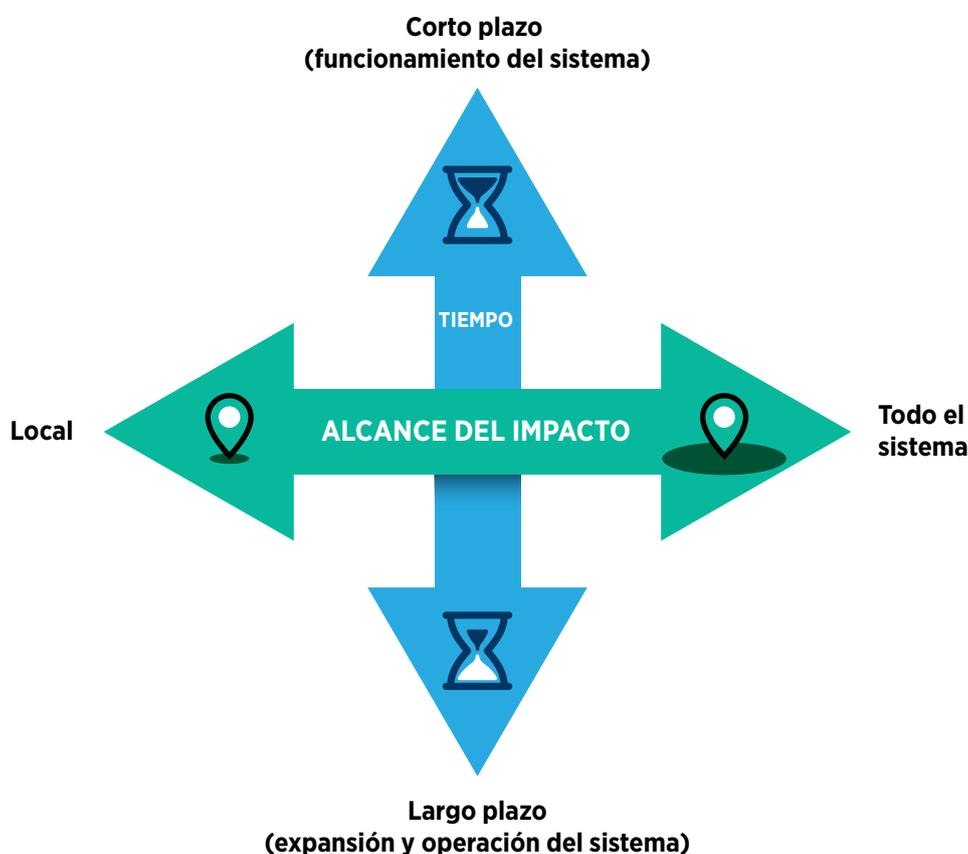
- El primero es el alcance geográfico del análisis. Los impactos de los VE en el funcionamiento del sistema son mayores en sistemas aislados con una alta participación de energías renovables variables que son más difíciles de equilibrar que en los sistemas interconectados. Los impactos de la

carga descontrolada son mayores en estos sistemas debido a las fuentes de flexibilidad limitadas o completamente ausentes de los interconectores. Evaluar el valor agregado de la carga inteligente VIG y V2G en esos casos extremos es importante para comprender el impacto de las diferentes estrategias de integración de la red. También se evaluaron los impactos locales de las fuentes de energía renovable y de la carga de VE en la carga de distribución tanto a corto como a largo plazo.

- El segundo es el marco temporal del análisis. Es necesario evaluar tanto los impactos a corto plazo en la planificación operativa en el sistema y los impactos de las distintas estrategias de carga de VE en la evolución del sistema a largo plazo.

El análisis del impacto en todo el sistema se basa en la modelización de sistemas aislados. La metodología

Figura 30: Aspectos del análisis



utilizada para el modelo, incluidas las suposiciones y las restricciones, se analiza en el Anexo 5. La evaluación de los impactos locales se basa en estudios de caso externos. El ejercicio ofreció perspectivas valiosas y quizás inspire otras investigaciones que no estaban dentro del alcance de este informe. Entre ellas se pueden incluir la modelización de sistemas interconectados, así como sistemas aislados que combinen la carga inteligente con el uso secundario de baterías de VE como baterías estáticas y los sistemas de intercambio de baterías. Otros estudios también pueden centrarse en los sistemas híbridos compuestos de energías renovables (energía solar fotovoltaica y eólica), el almacenamiento de baterías y las infraestructuras de carga que se están aproximando a la aplicación práctica en islas aisladas con abundancia de energías renovables (*por ejemplo*, en el noroeste de China) y en parques industriales.

6.1 Impacto en el sistema

Para la evaluación de los efectos en todo el sistema se han modelado dos tipos de sistemas aislados, como se explica más adelante.

Para evaluar el impacto en esos sistemas aislados se utilizan los siguientes indicadores claves de rendimiento, expresados en valores anuales:

- **Vertido de energías renovables (%)**
- **Reducción/aumento del pico de demanda (%)** comparada con la situación habitual («business as usual»)
- **Reducción de emisiones de CO₂ (%)**
- **Costo promedio de la electricidad (EUR/MWh)** calculado como el costo marginal promedio a corto plazo de la generación de electricidad.

En este modelo simplificado no se evalúan el costo de la red, las comunicaciones y las pérdidas.

Se definieron cuatro escenarios que permiten evaluar las principales innovaciones en torno a los VE que influyen en la integración de las energías renovables en los sistemas de energía. Se utilizan para evaluar el impacto de dos innovaciones en el lado del sistema de energía y una en el lado de la movilidad, aplicadas ambas por separado (equilibrio) y juntas (sinergias).

Los tres primeros escenarios suponen que no hay avances en el lado de la movilidad. El cambio hacia la movilidad como servicio (MaaS) sigue limitado a los niveles

actuales. Sigue prevaleciendo la propiedad individual de automóviles, es decir, la cantidad de automóviles se ve afectada por el desarrollo económico de cada país. Al mismo tiempo, la cantidad de VE sube a medida que el costo total de propiedad sigue disminuyendo. Los costos de oportunidad de no conducir (pérdida de ingresos del servicio de transporte) son bajos:

1. Escenario BAU («business as usual» o caso habitual) supone que las actuales tendencias de despliegue de VE seguirán hasta 2030, mientras que habrá innovaciones limitadas en el sector eléctrico. Por lo tanto, la cantidad de VE aumentará considerablemente, pero su carga y patrones de carga seguirán siendo descontrolados.

2. El escenario de «carga inteligente parcial» (llamado V1G) supone que los VE estarán integrados a la red a través de la carga inteligente V1G unidireccional solamente.

3. El escenario de «carga totalmente inteligente» (llamado V2G) supone gran innovación en el lado del sistema eléctrico y en el lado de los VE en cuanto a tecnologías y modelos de negocios. Los VE se utilizan como fuente de flexibilidad para los sistemas de energía basados en energías renovables, es decir, la integración a la red de los VE es avanzada, incluyendo no solo la carga inteligente unidireccional (V1G) sino también la V2G, y las baterías de segunda vida se convierten en una fuente competitiva de flexibilidad para la red, utilizadas para la amortiguación de picos así como para el equilibrio de la red cerca del tiempo real.

Sin embargo, el escenario final supone cambios importantes en los patrones de movilidad:

4. El escenario de carga inteligente MaaS[ivo] asume la innovación total en el lado del sistema eléctrico (como en el escenario de «carga totalmente inteligente») y complementa esto con gran innovación en el lado de la movilidad. Refleja los importantes avances hacia la movilidad como servicio gracias a los avances de las TIC (uso compartido de automóviles muy eficiente, intermodalidad) y la evolución de la tecnología de los vehículos eléctricos hacia la conducción totalmente autónoma que se traduce en una disminución sustancial de la propiedad individual de automóviles.

En la Tabla 16 se resumen los escenarios.

Tabla 16: Definición de escenarios a nivel de innovaciones

Nivel de innovaciones en los escenarios		Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4
		BAU	«Carga inteligente parcial» o V1G	«Carga totalmente inteligente» o V2G	MaaSivo
VE		Sí	Sí	Sí	Sí
Innovación en sistemas eléctricos	V1G	No	Sí	Sí	Sí
	V2G	No	No	Sí	Sí
Innovación en modelos de negocios de movilidad	MaaS	No	No	No	Sí

Impacto a corto plazo en el funcionamiento del sistema

El caso presentado ilustra un lugar aislado con una alta irradiación solar, con un factor de carga anual medio para la energía solar fotovoltaica del 31%. La capacidad instalada en este sistema bajo el escenario BAU en 2030 asciende a alrededor de 2700 MW. La energía solar representa alrededor del 27 % del parque de generación, mientras que la generación restante consiste en un 60 % de turbina de gas de ciclo combinado, un 9 % de biomasa y un 2 % de viento y otros. La demanda pico es de alrededor de 900 MW y para 2030 el lugar alcanzará una tasa de penetración del 50 % de VE en la flota, que representa 100 000 VE con un tamaño promedio de batería de 80 kWh.

Los resultados de la modelización⁸ se resumen en la Figura 31. Demuestran con claridad los beneficios de la carga inteligente en comparación con la carga descontrolada (escenario BAU).

- La aplicación de V1G y V2G reduce gradualmente el vertido a niveles cero. La V1G disminuye el vertido porque desplaza la carga del VE para que se ajuste mejor a la disponibilidad de la energía solar. Esto se hace aún más evidente en la presencia de baterías de VE para servicios de V2G que permiten la plena explotación de los recursos solares y que desplazan su consumo en el tiempo almacenando la electricidad en las baterías de los VE y reinyectándola en la red en momentos de alta demanda.
- En consecuencia, se reducen en parte las emisiones (CO₂) en el sistema, debido a una mayor participación

de la generación solar para cubrir las cargas. Gracias a la dispersión de la carga durante el día, la carga pico se reduce en el escenario de V1G en comparación con el de BAU porque los vehículos no se cargan durante la carga pico. En la V2G la carga pico se ve aún más reducida porque la batería del vehículo está enviando electricidad de regreso a la red en momentos de alta demanda.

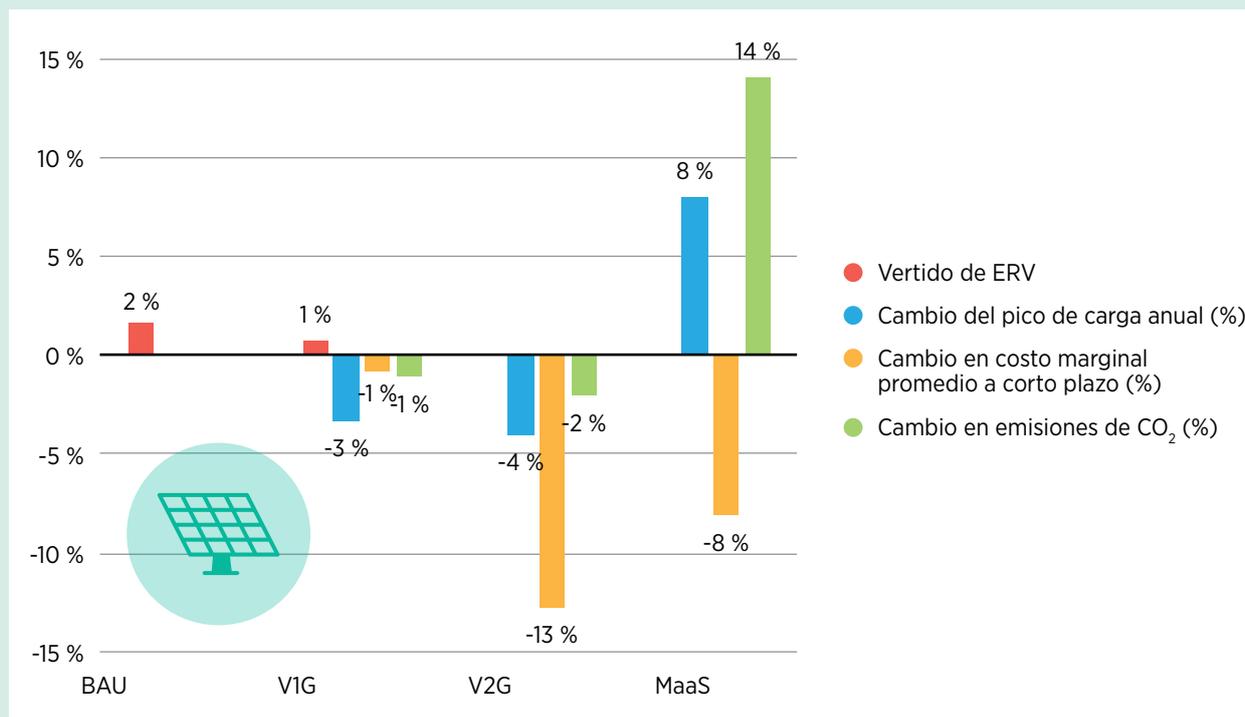
- Y finalmente, el costo promedio de la electricidad puede caer. El escenario V2G muestra una gran reducción del costo ya que el modelado supone que los VE se usan como baterías gratuitas. Además del costo marginal a corto plazo, los precios en los mercados de servicios complementarios pueden disminuir si la demanda limitada de este segmento del mercado se satisface con abundantes VE flexibles u otras cargas flexibles.

Además, es esperable que los VE cargados de manera inteligente tengan tiempos de respuesta cortos, lo que tiene una importancia crucial en los plazos operacionales más cortos.

Sin embargo, una vez que la innovación avanzada en el lado del sistema eléctrico a través de la carga inteligente se complementa con una gran innovación en el lado de la movilidad, algunos de los beneficios presentados pueden anularse. Además de V1G y V2G, la modelización del escenario MaaSivo supone un cambio importante hacia la movilidad como servicio que se producirá al mismo tiempo que el despliegue generalizado de vehículos autónomos. Esto se traducirá en una caída sustancial de la propiedad individual de los automóviles.

⁸ Los análisis se realizaron utilizando la herramienta de software PLEXOS Integrated energy model, cuyos derechos de autor pertenecen a Drayton Analytics Pty Ltd, Australia y Energy Exemplar Pty Ltd, Australia.

Figura 31: Impacto a corto plazo de la carga de VE en los indicadores clave de rendimiento seleccionados



Habrán menos automóviles que se conducirán mucho más que los actuales vehículos privados.

Esto resultará en una menor capacidad general de las baterías de VE para la red en comparación con los escenarios sin MaaS, una menor disponibilidad de estas baterías para proporcionar servicios de red e incluso un aumento de la carga durante ciertos momentos porque los vehículos muy usados tendrán menos flexibilidad de carga. Los detalles de cómo se modelaron los VE en este caso se presentan en el Anexo 5. El modelado supone implícitamente que en el escenario MaaSivo no surge ninguna otra tecnología de flexibilidad (como el almacenamiento estático, la respuesta a la demanda, etc.) para hacer lo que habrían hecho las baterías de vehículos que ya no están disponibles

Debido a estos desarrollos:

- **El vertido de la energía solar puede quedar en niveles cero** Incluso si los tamaños de las baterías de VE disponibles se han reducido en comparación con el escenario de V2G, la capacidad disponible de las baterías de V2G puede ser todavía lo suficientemente grande como para almacenar un exceso de energía limpia y desplazar su consumo en el tiempo, como en el caso modelado.
- **Pero el pico de demanda en el sistema aumenta** debido a una carga anual mayor a la que los VE aportan al sistema. Aunque habrá menos vehículos

en la carretera, estos circularán varias veces más que en los otros escenarios, lo que a su vez aumentará las necesidades de carga. A pesar de la capacidad de carga inteligente, la capacidad de almacenamiento de las baterías de los vehículos eléctricos está muy limitada, ya que los vehículos pasan la mayor parte del día andando y, por lo tanto, no están disponibles para la prestación de servicios de red.

- **El costo promedio de la electricidad** podría seguir siendo más bajo en el caso BAU. Dado que la energía solar ya estaba plenamente explotada (vertido cero en la hipótesis V2G), la forma más barata de cumplir con la carga adicional es aumentar el factor de carga de la generación basada en gas, por lo que se despachan más turbinas de gas de ciclo combinado que en el BAU como carga base. El costo marginal a corto plazo por hora se establece según las unidades más caras despachadas. Los costos promedio del sistema podrían ser inferiores en la hipótesis de MaaSivo en comparación con el BAU, a pesar de que el pico de demanda del sistema sea mayor si, en la mayoría de las horas, el despacho favoreciera las unidades de carga base más baratas en lugar de las unidades para alta demanda (que elevan el costo marginal). Este es el caso del ejercicio de modelado, en el cual, en comparación con el BAU, las unidades para alta demanda de gas operan menos y las de carga base operan más.

La carga inteligente muestra beneficios significativos en el funcionamiento a corto plazo de los sistemas aislados en cuanto a la mitigación del vertido de ERV, la reducción de la demanda pico y los costos de electricidad. Sin embargo, la aparición de la MaaS puede anular los beneficios de la carga inteligente para la reducción del pico de demanda y las emisiones de CO₂ en el corto plazo.

- **Pero el aumento del despacho de recursos basados en combustibles fósiles conduce a su vez a un aumento de los niveles de emisión.**

Impacto a largo plazo en la expansión del sistema

Los impactos a largo plazo de la carga de VE en el sistema eléctrico basado en energías renovables pueden ilustrarse utilizando los mismos escenarios e indicadores claves de rendimiento que para la evaluación de los impactos a corto plazo. Sin embargo, esta vez se modelaron dos sistemas aislados: el mismo sistema basado en la energía solar que en el caso de corto plazo (2700 MW) y un sistema basado en la energía eólica con un factor de carga eólica anual promedio del 51% y una capacidad instalada de 5800 MW en el marco del BAU. En esta subsección se resumen los resultados de ambos casos modelizados.

En el análisis a corto plazo, se evaluó el impacto de las diferentes estrategias de integración vehículo-red en el funcionamiento del sistema, junto con la forma en que estas afectarían a los principales indicadores de rendimiento desde el primer momento de la implementación. Por otro lado, las señales a corto plazo en el mercado producen un impacto en la expansión a largo plazo del sistema, y esto es lo que se analiza en esta subsección: cómo diferentes estrategias de VGI afectan, a largo plazo, la expansión del sistema y la operación de dichos sistemas futuros.

Para dar cuenta de este efecto, el software de modelización se modificó para calcular «libremente» el parque de generación óptimo y para invertir en nuevos activos. Optimiza los costos totales del sistema y satisface la demanda en el horizonte de 2030 y calcula el despacho óptimo por tipo de tecnología en función de la resolución horaria. Diferentes estrategias de VGI o la ausencia de estrategias de VGI (escenario BAU) influirían en la expansión del sistema, cambiando el parque de generación óptimo. El modelo puede elegir de manera óptima entre cuatro tecnologías - solar fotovoltaica, eólica, turbinas de gas de ciclo combinado y turbinas de gas de ciclo abierto - para instalar una capacidad de generación adicional y satisfacer la demanda en 2030. En la Tabla 17 se resumen los costos de inversión de estas tecnologías.

En la Tabla 35 del Anexo 5 se muestra el parque de generación resultante para el escenario después de la expansión del sistema para los casos específicos de energía solar y eólica estudiados (la inversión en nuevas tecnologías se representa con el prefijo «Nueva»).

Se espera que los VE tengan un impacto en las inversiones en energía renovable, y en particular para los sistemas aislados que utilizan energía eólica y solar, como se indica a continuación (Figura 33):

Existe una gran coincidencia entre la producción de energía eólica y los perfiles de carga de los VE, incluso con la carga descontrolada de los VE (BAU), y la implementación de la carga inteligente no mejorará significativamente esta coincidencia (el cambio incremental será pequeño). Esto se muestra en la Figura 32, que presenta los perfiles de carga de VE relacionados con la disponibilidad solar y eólica. Los VE se cargan principalmente cuando sopla el viento. Sin embargo, la coincidencia exacta dependerá de los perfiles concretos de producción eólica que son más volátiles que los solares. Como ejemplo, la Figura 33 ilustra la variación regional de los factores de carga en un país con alto potencial eólico.

Tabla 17: Costo de inversión de las tecnologías de generación usadas en el modelo

Tecnología	Costo de la inversión en 2030 (USD 2016/kW)
Nueva turbina de gas de ciclo combinado	700
Nueva turbina de gas de ciclo abierto	613
Nueva solar	672
Nueva eólica	1015

Figura 32: Perfiles de carga de VE relacionados con la disponibilidad de energía solar y eólica

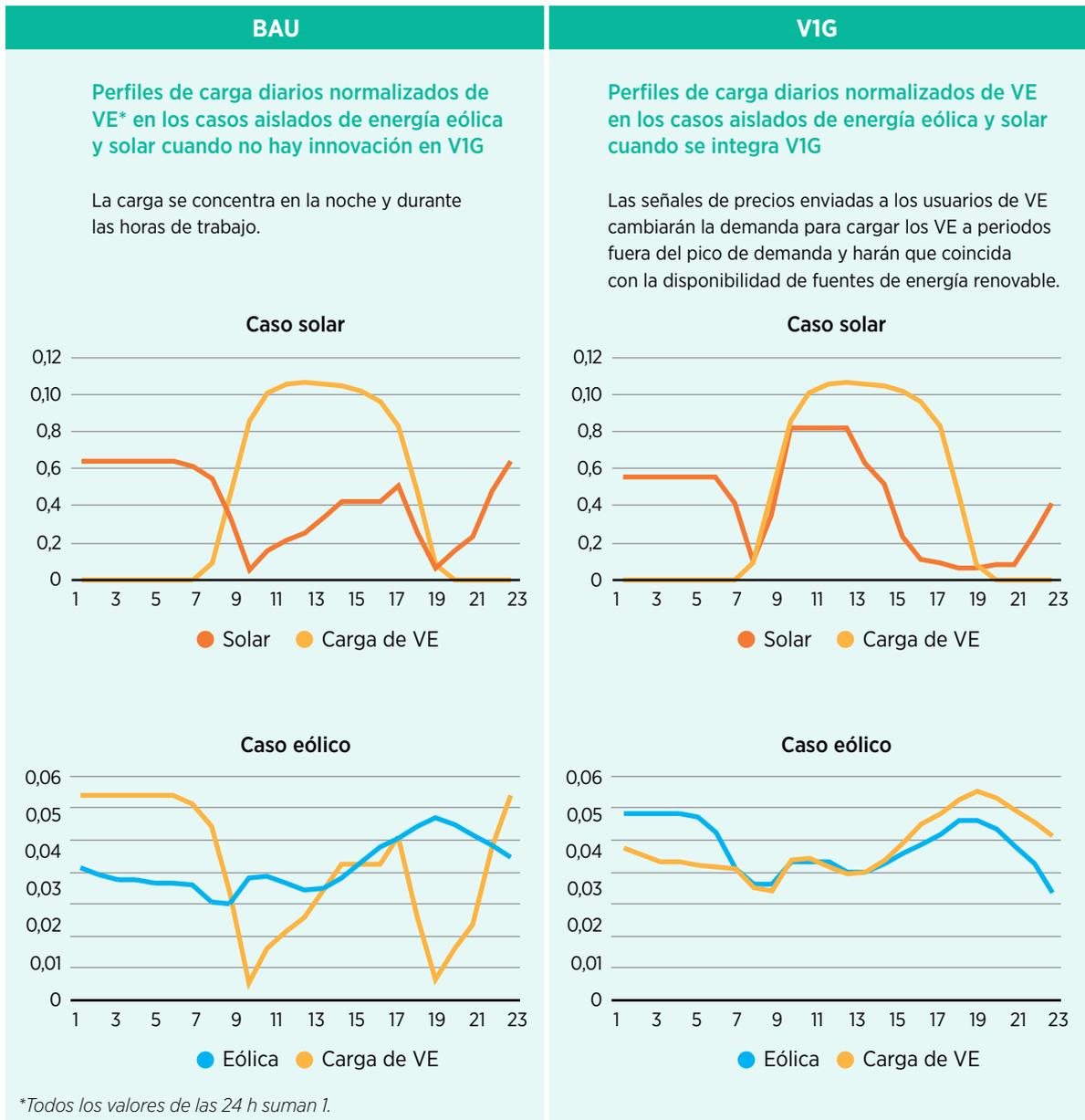
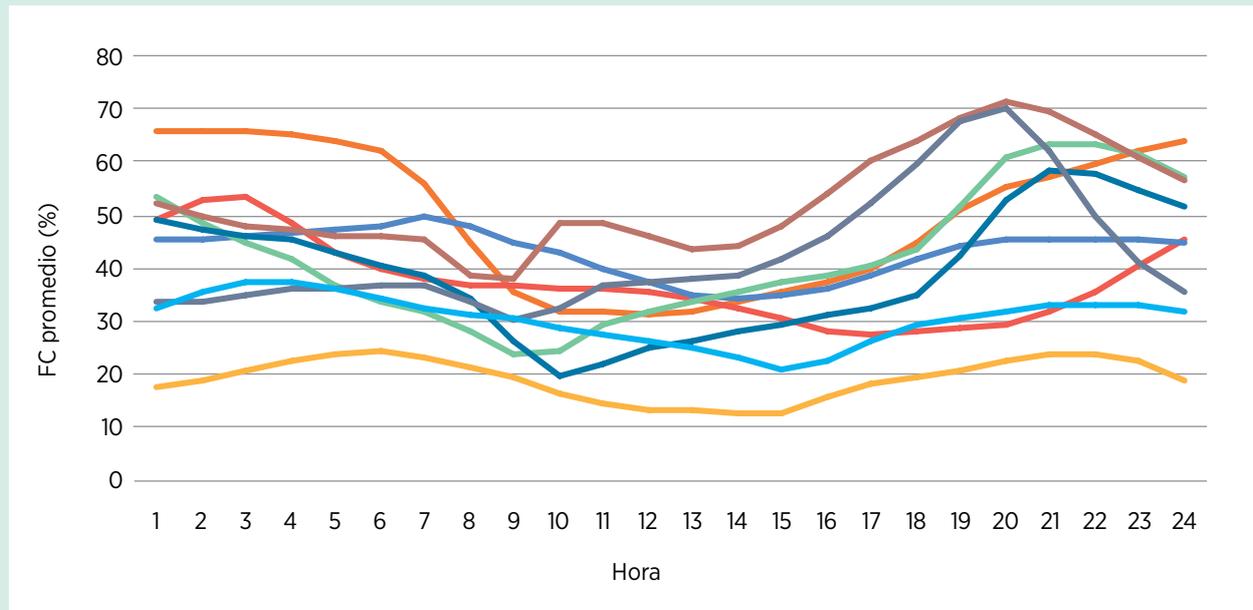


Figura 33: Perfiles de producción eólica regional en un país con alto potencial eólico



Fuente: Tractebel, 2018.

- Al mismo tiempo, la inversión eólica puede sufrir limitaciones de expansión debido a problemas de disponibilidad de tierras en algunos lugares. Como ese es el caso en el ejemplo modelado, el caso eólico muestra una expansión de la capacidad similar en todos los escenarios. El modelo elige invertir en viento hasta sus límites máximos ya en el escenario BAU. Las participaciones ligeramente diferentes observadas en el caso eólico son consecuencia de diferentes factores de carga de las tecnologías. Esto quizás no sea válido para sistemas menos aislados o interconectados.
- El perfil de generación solar varía según la orientación del panel (la producción de los paneles orientados hacia el este alcanza su punto máximo por la mañana y la de los paneles orientados hacia el oeste alcanza su punto máximo por la tarde) y según el clima (menor irradiación con tiempo nublado y en invierno). A diferencia del viento, los perfiles de generación solar FV no coinciden con la carga descontrolada de VE, salvo en la carga en oficinas y en parte también en la carga pública durante el día. De este modo, los beneficios incrementales de la carga inteligente en términos de impacto sobre la capacidad renovable podrían incluso más altos con energía solar, principalmente en el caso

V2G con baterías baratas que puedan almacenar el exceso de energía renovable que no se consume instantáneamente durante el día y despacharla más tarde.

En la Tabla 18 se detalla la nueva capacidad que requiere el modelo en 2030 para el caso solar en cada uno de los escenarios. En el escenario V2G del caso solar, no hay inversión eólica porque se elige una inversión solar masiva en lugar de la eólica debido a un mejor factor de carga y a la competitividad de los costos, así como a la buena concordancia entre los perfiles solares y los patrones de carga inteligente. La capacidad de expansión en el escenario V2G también es muy significativa ya que el modelado asume que las baterías de los VE proporcionan energía a la red de manera gratuita.

- Sin embargo, en el escenario MaaSivo, se puede esperar que la parte renovable se cancele y vuelva a los valores de referencia (BAU). Esto es consecuencia del aumento de la carga anual de VE, pero no aporta capacidad de almacenamiento suficiente al sistema para poder integrar económicamente más energía renovable. En este caso, el modelo encuentra más atractivo invertir en turbinas de gas de ciclo

La carga inteligente da como resultado mayores beneficios para los sistemas con altas proporciones de energía solar fotovoltaica que de viento, debido a que el perfil de generación solar es más predecible. En sistemas con altas participaciones de viento podría haber una correlación alta entre producción de energía eólica y los perfiles de carga de VE, incluso con carga descontrolada.

Tabla 18: Expansión de la capacidad (MW) en el caso solar en 2030

	BAU	V1G	V2G	MAASIVO
Nueva turbina de gas de ciclo combinado	604	580	257	631
Nueva turbina de gas de ciclo abierto	0	0	0	0
Nueva solar	337	370	1137	443
Nueva eólica	32	32	0	34

combinado de carga base que invertir en grandes cantidades de energía solar, que finalmente debería ser vertida porque las baterías no podrán integrarla.

Debe tenerse en cuenta que el efecto de la estacionalidad es bajo en la región del modelo. En regiones con mayor estacionalidad, quizás sea necesario contar con almacenamiento a largo plazo adicional, ya que los VE funcionan como almacenamiento a corto plazo y no para cubrir las variaciones estacionales y sostener los beneficios de integrar las energías renovables.

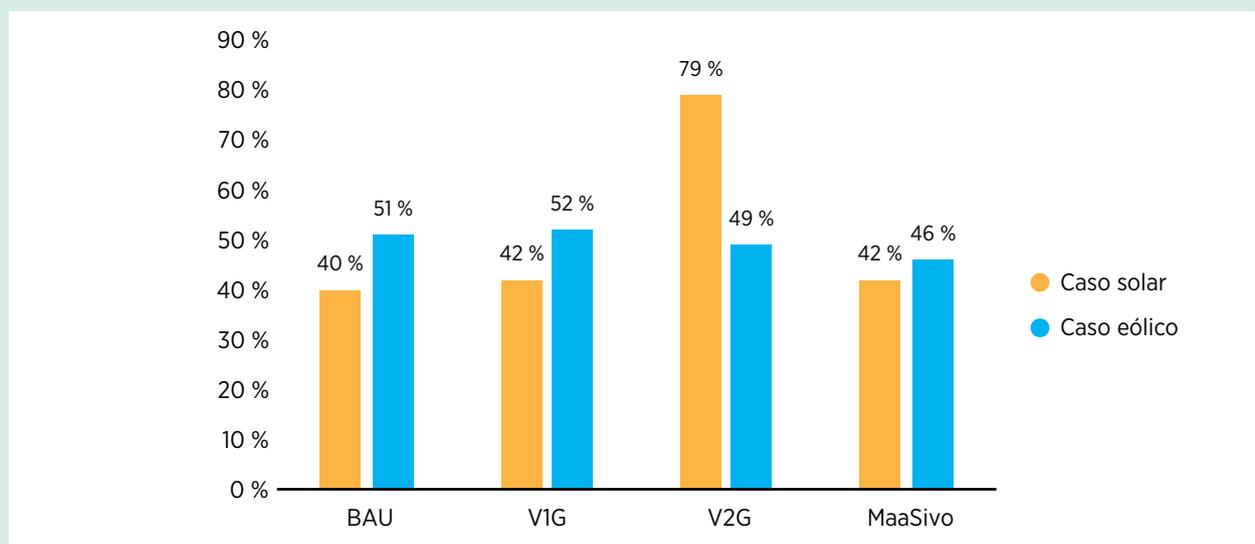
Podemos asumir que las mismas innovaciones estarán presentes hasta el 2050. Pero su intensidad se verá influenciada por otros avances como la revolución digital en la energía y el transporte. En consecuencia, se espera que la

proporción de renovables sea mayor que en 2030, ya que se sacarán de servicio más unidades de combustibles fósiles, y las inversiones en energías renovables serán una opción más favorable debido a las nuevas reducciones de los gastos de capital tanto de las tecnologías de generación como de las tecnologías facilitadoras. El aumento de la participación de los VE con carga inteligente también aumentará la flexibilidad del sistema para equilibrar sus variaciones diarias con una mayor proporción de renovables.

Esto podría funcionar de la misma manera para el caso del viento, con la única diferencia de que el perfil de generación eólica es menos predecible que el de la solar. Sin embargo, en nuestro «caso eólico» esto no se aplica ya que la capacidad eólica máxima ya estaba instalada en el BAU, y la expansión de esta capacidad no era posible

El uso de VE como baterías (V2G) podría facilitar la integración de una gran parte de la generación solar en la red, almacenando el exceso de generación solar durante el día e inyectándolo en la red cuando la demanda alcanza su punto máximo por la tarde, por ejemplo. Esto también mantendría la generación solar valiosa e incentivaría un mayor despliegue de instalaciones solares fotovoltaicas (tal como muestra la Tabla 18).

Figura 34: Participaciones de energías renovables en sistemas basados en energía eólica y solar en diferentes escenarios de carga (impacto a largo plazo)*



*La participación de energía renovables incluye la generación solar, eólica, geotérmica y de biomasa (sin hidroelectricidad en el sistema).

debido a la limitación del terreno. Las pequeñas diferencias entre la generación eólica en diferentes escenarios están dadas por las diferencias en el nivel de vertidos.

La evolución del parque de energía afecta a su vez a los diferentes indicadores claves de rendimiento, principalmente en consonancia con las tendencias observadas en el análisis a corto plazo y reforzando los beneficios identificados, como se describe en la Figura 35.

- Los efectos de la **carga pico anual** son similares en el análisis a corto plazo, es decir, los escenarios de carga inteligente conducen a una disminución de la carga pico, y el escenario MaaSivo conduce a un aumento de la carga pico, sin grandes cambios para los sistemas basados en la energía solar y eólica.
- La **disminución de las emisiones de CO₂** está impulsada por la mayor participación de la energía renovable en el sistema en los casos de carga inteligente tanto solar como eólica. El aumento de las energías renovables también podría mitigar el aumento de las emisiones en el escenario solar MaaSivo, en comparación con el impacto a corto plazo. Sin embargo, la magnitud de la disminución de las emisiones en el escenario solar V2G es más bien alcista en el modelo debido a la suposición simplificada de que las baterías serán gratuitas para el sistema, como se explicó anteriormente. En

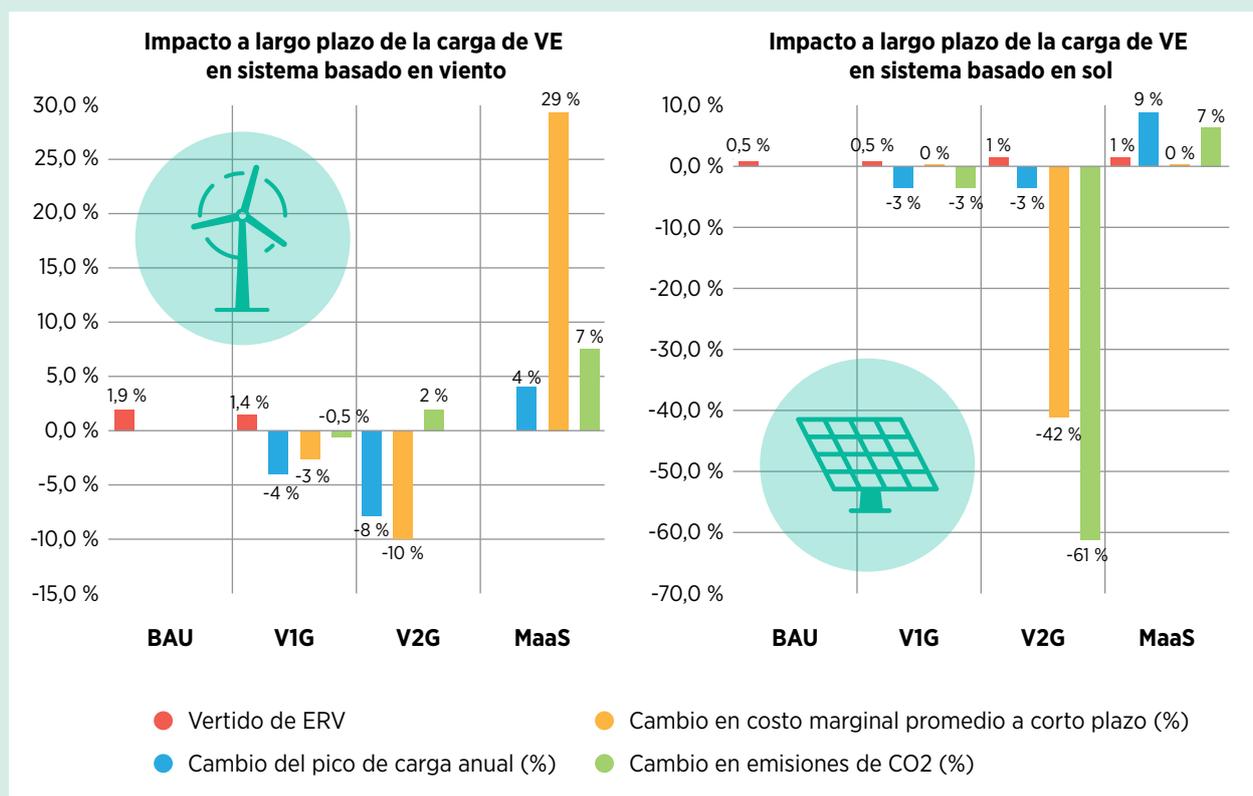
el caso del viento, las emisiones pueden aumentar considerablemente en el escenario MaaSivo si no se superan los obstáculos para que avance la inversión en energía eólica.

- La **disminución del costo marginal a corto plazo** también acompaña en gran medida la creciente participación de las energías renovables. A diferencia de la disminución real de este costo en comparación con la carga descontrolada en el caso de MaaSivo a corto plazo, el precio es similar al del BAU a largo plazo.
- Se observan **altas variaciones de vertido de ERV** cuando se modelan V1G o V2G (para vertido solar en el caso del sol y para el vertido eólico en el caso del viento). En general, el vertido de ERV es ligeramente superior que en el corto plazo, pero todavía está bajo control. El modelo elige de manera óptima aumentar la cantidad de capacidad instalada en el sistema y elige el vertido de ERV cuando es más eficiente económicamente que la instalación de nueva capacidad.

Resultados de otros estudios similares

También se han evaluado los impactos de la carga descontrolada de los VE frente a la carga inteligente en los sistemas eléctricos en estudios externos, muchos de los cuales se centraron en los sistemas eléctricos que ya tienen altas participaciones de ERV hoy en

Figura 35: Impacto a largo plazo de la carga de VE



A más largo plazo, la carga inteligente (V1G y V2G) permitiría extender la demanda a las horas de menor consumo y a las horas de mayor generación eléctrica renovable, lo que a su vez permitiría aumentar el despacho de ERV (reduciendo el vertido de ERV). También contribuirá a una mayor reducción anual de la carga pico en los sistemas basados en energía solar y eólica, en comparación con la situación habitual.

Los VE utilizados como baterías (V2G) abren la puerta a la integración de la energía solar fotovoltaica y, al mismo tiempo, reducen en gran medida el costo promedio de la electricidad del sistema, es decir, facilitan los sistemas baratos basados en energías renovables. Esto compensará bien el ligero aumento de los valores de vertido de ERV.

Con la movilidad como servicio - en la que los VE aportan una carga mucho mayor al sistema y proporcionan menos capacidad de batería para los servicios de la red - los beneficios de la V2G en términos de capacidad de las energías renovables y de reducción de la carga pico se anulan en gran medida.

día (como California o Alemania). En la Tabla 20 se ofrece un panorama de los resultados de varios estudios ilustrativos. En coincidencia con el caso modelado a los fines de este estudio, se ha identificado un impacto beneficioso de la carga inteligente sobre la mitigación del pico de demanda en el sistema (y las emisiones de CO₂ relacionadas) (Chen and Wu, 2018; RMI, 2016; Taljegard, 2017) y la mitigación del vertido de energías renovables (McKenzie *et al.*, 2016). Las investigaciones en el sector eléctrico alemán también mostraron que con la utilización de los enfoques de carga orientados a la energía eólica y solar, la participación de energía renovable usada para la demanda de los VE puede superar el doble (Kasten *et al.*, 2016).

Será necesario estudiar cuidadosamente las implicaciones para la disponibilidad de flexibilidad de los VE, que puede disminuir en un sistema futuro basado en vehículos autónomos compartidos en comparación con un sistema de transporte basado en la propiedad individual de VE.

6.2 Impacto en la red de distribución local

Impacto a corto plazo en la operación de la red de distribución local

Incluso en sistemas interconectados, la elevada penetración de las ERV así como la penetración descontrolada de los VE aumenta la variabilidad de la demanda residual local. Si hay una alta penetración local de energías renovables variables, el vertido de ERV local puede ser muy alto debido a la sobretensión y a la sobrecarga del transformador. La inyección local de potencia activa de las ERV aumenta la tensión en el punto de inyección de la red. La capacidad de

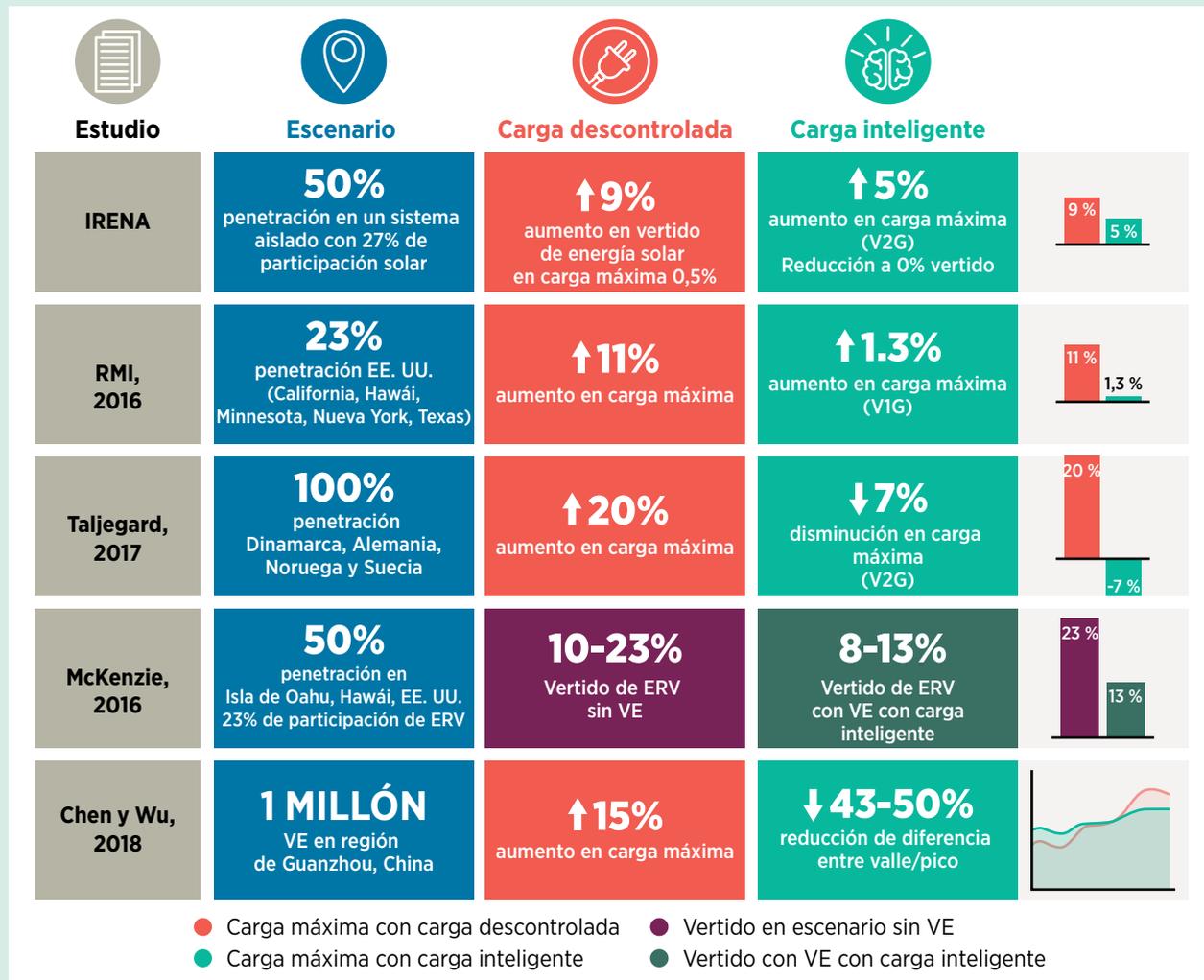
alojamiento de las líneas está limitada por la capacidad de carga del transformador y la carga crítica de la línea. Si estos límites se superan con frecuencia, es necesario reforzar los transformadores y líneas «saturados». Además, si la oferta local excede la demanda local, la electricidad generada aumentaría los niveles de tensión de la red de distribución.

Asimismo, los VE que no se cargan de forma inteligente representan un importante desafío a nivel de distribución diseñado para facilitar los flujos de carga unidireccionales, caracterizados por niveles de tensión más bajos y una estructura de red principalmente radial.

Con la carga inteligente, la alimentación de energía solar fotovoltaica puede ser utilizada de manera óptima para la carga de VE. El proyecto PlanGridEV, cofinanciado por la UE, tiene por objeto diseñar normas de planificación y principios operativos para la integración óptima de la energía fotovoltaica en diferentes diseños de redes locales. Las simulaciones realizadas en el marco de este proyecto demostraron que (PlanGridEV, 2016a):

- Con la carga convencional, la saturación del transformador aumenta a medida que aumenta el número de VE. Sin embargo, con la carga inteligente, la saturación de los transformadores mejora para el mismo número de VE. Esto se debe a que el pico de demanda de los VE no coincide con el pico de demanda convencional. La carga inteligente puede disminuir los flujos de potencia inversa desde la generación distribuida al transformador. La reducción de la carga inversa está representada por la curva púrpura de la Figura 37.
- Los perfiles de tensión pueden verse influidos positivamente por la carga inteligente, como se ilustra en la Figura 38. El modo de carga inteligente permite reducir las sobretensiones y mantener la tensión de la red en una red de distribución de baja

Figura 36: Ejemplos de estudios que evalúan el impacto de las estrategias de carga de VE



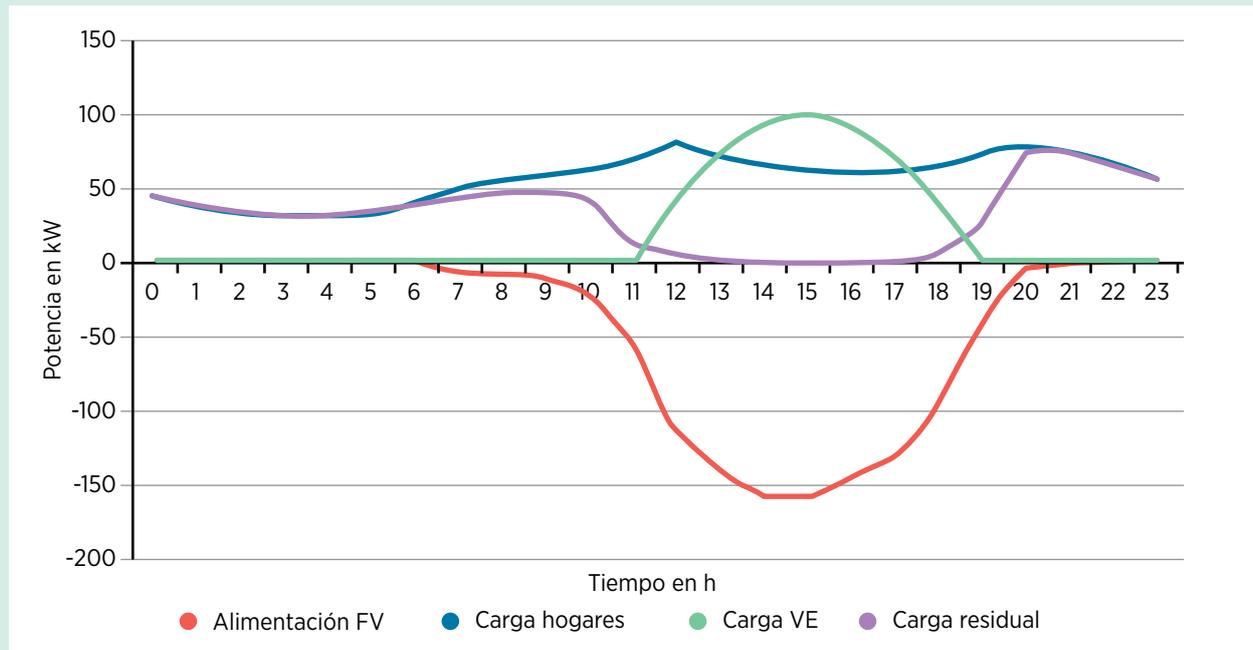
tensión. La curva de tensión se suaviza. Este efecto se puede realizar principalmente durante el día a través de la carga pública o la carga de la oficina.

Una simulación de un lugar con tres puntos de carga de distribución (Tractebel, 2018) demostró que solo la carga inteligente unidireccional (V1G) puede reducir el

Si bien los efectos a nivel de todo el sistema de carga inteligente serán más importantes en los sistemas aislados que en los sistemas interconectados, los beneficios de la mitigación de la congestión local pueden aprovecharse en ambos tipos de sistemas. La carga inteligente puede reducir los flujos de energía inversa y la sobrecarga de los transformadores, aumentando la capacidad de acogida de las redes de distribución. También ayuda a mitigar las sobretensiones en las redes de baja tensión con altos porcentajes de ERV.

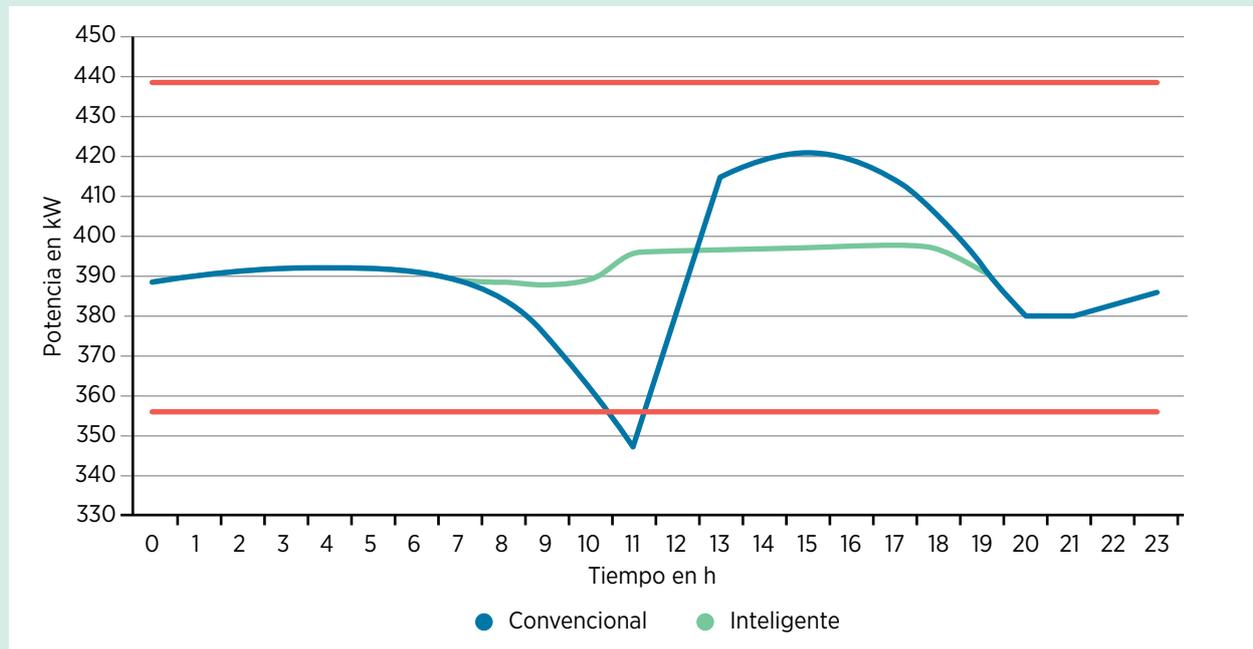


Figura 37: Perfil de potencia con carga inteligente



Fuente: PlanGridEV, 2016b.

Figura 38: Perfil de tensión para la carga inteligente y convencional al mediodía



Fuente: PlanGridEV, 2016b.

vertido de energía solar fotovoltaica en un 20 % al año. Si se combina con una batería estática, el vertido de ERV puede reducirse en un 83 % por año en comparación con un escenario con carga descontrolada.

Impacto a largo plazo en la expansión de la red de distribución

La adopción masiva de VE tiene un impacto en la infraestructura eléctrica. Los cuellos de botella o las congestiones de la red pueden producirse cuando las líneas de transmisión o distribución existentes, o los transformadores, son incapaces de satisfacer toda la carga requerida durante los períodos de gran demanda -como la carga simultánea de miles de VE- o durante las condiciones de carga de emergencia, como cuando una línea adyacente queda fuera de servicio.

Los efectos de la carga de los VE en la congestión de la red de distribución pueden ilustrarse en dos estudios de casos separados de dos redes de distribución europeas de tamaño mediano: Stromnetz Hamburg (Alemania) y Endesa (España).

i. Impacto de la carga de VE en la red de distribución de Hamburgo

Hamburgo es actualmente la ciudad con el mayor número de puntos de carga en Alemania (varios cientos de puntos de carga en hogares y 810 puntos de carga públicos a noviembre de 2018). La ciudad esperaba instalar 1000 puntos de carga públicos para principios de 2019. La electrificación de los autobuses públicos y el crecimiento de los vehículos eléctricos son los impulsores más importantes del desarrollo de la carga en la ciudad. La mayoría de los VE estarán en los suburbios donde, en el caso de Hamburgo, la red es más débil (Pfarrherr, 2018).

El operador del sistema de distribución local, Stromnetz Hamburg, realizó un análisis del desarrollo de la carga para identificar situaciones críticas para la carga descontrolada de los VE con cargas de punto de carga de 11 kW y 22 kW. Stromnetz Hamburg evaluó dos escenarios:

- *Escenario 1:* Una participación del 3 % de VE, correspondiente a 20 000 VE que se cargan en la infraestructura privada, causará 200 cuellos de botella. Esto podría generar problemas en la red de baja tensión.
- *Escenario 2:* Un 9 % de los VE, correspondiente a la carga de 60 000 VE en la infraestructura privada, causará cuellos de botella en 800 de los 6000 puntos

de carga, o en el 15 % de los puntos de carga de la red de distribución de la ciudad (Pfarrherr, 2018).

Para evitar estas situaciones críticas, Stromnetz Hamburg evaluó que las necesidades de inversión para reforzar las redes locales. El escenario 2 requeriría reforzar aproximadamente 10 000 km de líneas de cable de 0,4 kilovoltios (kV), lo que supondría una inversión de al menos 20 millones de euros (unos 200 euros/metro de cable). Esta inversión estimada no incluye el reemplazo de los transformadores sobrecargados, que también sería significativa.

Además de los costos de refuerzo de las redes locales, un desafío más, quizás más complejo que las implicaciones monetarias, sería encontrar la capacidad de mano de obra para reforzar la red y obtener los permisos, así como la aceptación pública de obras que requieren el cierre de muchas vías de comunicación en la ciudad para reemplazar cables subterráneos por varios meses o incluso años.

Dada la magnitud del desafío y los costos necesarios para reforzar las redes locales, Stromnetz Hamburg está explorando una solución alternativa para abordar el problema. La clave es disminuir la simultaneidad, es decir, disminuir el número de VE que se cargan al mismo tiempo en la misma red local. Para esto, se está probando una solución inteligente que utiliza tecnologías digitales, que incluye:

- Todos los hogares con un punto de carga tienen que informarlo al operador del sistema de distribución. Esta información aún no ha sido solicitada.
- Medir las cargas en los cables de 0,4 kV, que por el momento no se pide en la ciudad de Hamburgo. Esto permitirá identificar el problema de botella tan pronto como aparezca.
- Un sistema de comunicación en tiempo real que permite al operador del sistema de distribución reducir la carga de los puntos de carga necesarios para resolver el problema. Los puntos de carga de 11 kW, por ejemplo, pueden reducir su carga de 16 amperios (A) a 8 A, lo que permite que los VE se carguen pero en un período más largo.

Para este proyecto, Stromnetz Hamburg se asoció con Siemens, que instalará 30 unidades de control y monitoreará las cargas de la infraestructura de carga privada. Esto les ayudará a anticiparse a los problemas de congestión y a planificar la red en base a los perfiles de carga. El costo estimado de esta solución es de alrededor de 2 millones de euros, que es solo el 10 %

del costo de reforzar los cables (sin incluir los costos del transformador) en una solución convencional. También tienen previsto iniciar una colaboración estrecha con los operadores de los puntos de carga para construir una sólida infraestructura de IT y comunicaciones para vincular a los operadores de los puntos de carga y la red.

Incluso cuando la solución técnica es factible, su implementación plena requeriría el compromiso de los consumidores, así como de los más de 400 minoristas de electricidad de la ciudad de Hamburgo de usar, por ejemplo, un incentivo de precio por tiempo de uso que permita al operador del sistema de distribución controlar sus puntos de carga en función de las necesidades de la red local. El caso de Hamburgo muestra no solo el impacto que los VE pueden tener sobre las redes locales, sino también las soluciones potenciales para hacerle frente que pueden requerir una combinación de tecnologías digitales, nuevos modelos de negocios y reglamentación del mercado para involucrar a todos los actores necesarios.

ii. Impacto de la carga de VE en la red de distribución española

En el caso se evaluó el costo potencial del refuerzo de la red de distribución a diferentes niveles de penetración de los vehículos eléctricos en el sector del transporte y a diferentes niveles de concentración de los puntos de carga en redes de baja tensión, en dos escenarios. A mayor concentración de puntos de carga, por ejemplo en un gran estacionamiento, mayor probabilidad de

que ocurran sobrecargas locales una vez que muchos vehículos empiecen a cargar al mismo tiempo.

Los dos escenarios incluyeron:

- El primer escenario sin carga inteligente. La única manera de evitar la congestión local en este escenario es reforzar sustancialmente la sección sobrecargada de la red (*es decir*, la solución «placa de cobre»).
- El segundo escenario con instalación de carga inteligente, es decir, un sistema de carga que permita un cierto nivel de control que incluya la variación de la corriente de carga. Se trata de VIg suponiendo una asignación básica de la capacidad de carga en un transformador: cuando demasiados automóviles intentan cargar al mismo tiempo, el sistema los hace rotar para asignarles capacidad. Este sistema permite cargar todos los VE distribuyendo la energía disponible entre todos los vehículos y cargándolos en secuencia, sin sobrecargar el punto de carga local. El refuerzo de la red se supone cuando la potencia es insuficiente para cargar todos los vehículos (*por ejemplo*, durante la noche).

Los resultados del estudio de caso, basados en datos reales de carga lenta (4 kW) de la red de distribución y extrapolados al resto de ella, se resumen en la Tabla 19. Demuestran la escala de ahorros desde el punto de vista de evitar los costos de la red de distribución: con un 15 % de penetración de los VE, la carga inteligente permite ahorros sustanciales de más de 1000 millones de euros en comparación con la situación actual (Endesa, 2014).

Tabla 19: Refuerzo de la red de distribución en escenarios de carga «no inteligente» versus «inteligentes»

		Costo de refuerzo de la red de distribución SIN carga inteligente (millones de EUR)		Costo de refuerzo de la red de distribución CON carga inteligente (millones de EUR)	
		Nivel de penetración de VE en la red de distribución local		Nivel de penetración de VE en la red de distribución local	
		5 %	15 %	5 %	15 %
Concentración de puntos de carga de VE en redes de baja tensión	20 %	550	1502	213	607
	30 %	603	1661	229	654
	40 %	641	1774	235	672
	50 %	672	1 867	236	675

Fuente: Endesa, 2014.

7. CONCLUSIÓN - LISTA DE VERIFICACIÓN DE POLÍTICAS

Como demuestra el análisis de las perspectivas, se prevé que el potencial de los VE para la integración de las ERV entre hoy y 2030/2050 aumente sustancialmente debido a la aceleración prevista de la electrificación del sector del transporte, la innovación tecnológica que permite aumentar el tamaño de las baterías y la absorción continua de las capacidades de carga inteligente para V1G, V2G y V2X tanto del lado de los vehículos como del de la infraestructura de carga. La digitalización puede facilitar la aceptación y el compromiso de los clientes e impulsar nuevas oportunidades de negocio.

Al mismo tiempo, varias barreras pueden frenar la capacidad de materialización de este potencial creciente. Hoy en día, una de las principales barreras para la aceptación de los VE es la falta de infraestructura de carga. Como todavía no existe un modelo de negocios claro para el desarrollo de esa infraestructura, en la mayoría de los casos se necesita apoyo público (incentivos normativos, objetivos de políticas, etc.). Con la adopción de los VE, se deberían aplicar estrategias de VG, *no solo para minimizar el impacto de esa carga adicional en el sistema eléctrico, sino también para aprovechar las sinergias* entre los VE y las energías renovables del sistema, lo que crea la necesidad de una mayor flexibilidad. Convertir el potencial de la V2G y la V2X demostrado en los pilotos para materializarse en la práctica es una tarea compleja, incluso si están instalados el hardware y el software. La carga inteligente que sigue los patrones de generación eléctrica renovable debe ser incentivada por un diseño de mercado apropiado y un control automatizado.

Será necesario contar con apoyo político y regulación para superar estos desafíos. Los gobiernos disponen de un conjunto de instrumentos de política que pueden agruparse en las siguientes categorías: incentivos monetarios y no monetarios, medidas regulatorias, promoción y relaciones públicas y adquisiciones públicas. Las autoridades locales también deberían tomar la iniciativa en su elaboración y prueba. Y tendrán que facilitar la interacción entre los proveedores de movilidad y las empresas de servicios de energía que operan las redes y suministran la electricidad, en lugar de construir silos entre ellos.

La descarbonización del sistema eléctrico y la descarbonización de la movilidad deben continuar de manera simultánea, no la una sin la otra, ya que eso disminuiría las ganancias potenciales de ambas.

Esto da como resultado 3 recomendaciones importantes y 13 puntos de acción concretos para los encargados de la formulación de políticas, que se resumen en la Figura 42:

Por un lado, un sistema eléctrico descarbonizado con una alta participación de generación eléctrica renovable garantiza menores emisiones de pozo a la rueda de los VE y, por lo tanto, la descarbonización del sector del transporte. Por otro lado, los vehículos eléctricos cargados de forma inteligente mejorarán la integración de las altas participaciones de renovables en el sistema eléctrico, aprovechando las sinergias entre ellas tanto a nivel del sistema como a nivel local. Para que esta fuente de flexibilidad esté disponible a escala, los costos de los VE tendrán que disminuir aún más, llegando a ser competitivos con los costos de los vehículos de MCI. Es necesario desarrollar más la infraestructura de carga para superar la ansiedad por la autonomía y facilitar la adopción masiva.

Punto de acción 1: Diseñar metas de transporte ambiciosas

Además de mantener ambiciones altas para las energías renovables (o implementarlas donde todavía faltan), debería aumentar la ambición de la movilidad eléctrica a nivel nacional. Los países deberían aprender de los precursores que ya han puesto en práctica objetivos y apoyo en cuanto a movilidad. Deberían centrarse no solo en los vehículos de pasajeros sino también en otras formas de transporte terrestres, como el transporte público. Liderando con el ejemplo, las ciudades y las autoridades públicas regionales deberían revisar los procedimientos e incluso podrían fijar objetivos para la contratación pública de autobuses y vehículos profesionales a fin de incentivar la creación de un mercado de primera calidad.

Para ser eficaces, los objetivos del transporte terrestre deberían estar separados de otros sectores de la movilidad, como la aviación o la marina.

Además de los objetivos de movilidad y las normas de CO₂ que ya están en vigor en algunos países, serían relevantes los objetivos de reducción de CO₂ para el transporte.

Acción 2: Respalda la infraestructura de carga

Los gobiernos y las autoridades locales en los mercados incipientes de VE deberían diseñar incentivos para la infraestructura de carga para dar el puntapié inicial a estos mercados, siguiendo buenas prácticas ya establecidas. Todos los gobiernos deberían abordar segmentos complejos del mercado tales como la carga ultrarrápida y las viviendas multifamiliares. Deberían agilizarse los procedimientos de autorización para la instalación de la infraestructura de carga.

Acción 3: Mantener o introducir incentivos temporales para VE

Se espera que los VE tengan un costo competitivo con el de los vehículos con MCI en la mayoría de los lugares y para la mayoría de los tipos entre 2025 y 2030. Pero aunque se prevé que las ventas de vehículos eléctricos aumenten rápidamente en los principales mercados automovilísticos, el crecimiento mundial dista mucho de estar distribuido de manera uniforme. Por lo tanto, es necesario introducir incentivos monetarios directos para VE, y con el tiempo, retirarlos según las circunstancias y necesidades locales.

Con el tiempo, los incentivos no monetarios deberían ser más frecuentes. Por ejemplo, los gobiernos locales también deberían inspirarse en los mejores incentivos indirectos, como las zonas libres de emisiones.

Acción 4: Desplegar más renovables

Los países y las organizaciones internacionales deberían implementar metas de energía renovable ambiciosas en donde aún no lo han hecho. En donde ya existen estas políticas, deberían actualizarlas con regularidad y mantener un nivel de ambición alto (IRENA. 2015).

En algunas regiones, los perfiles de producción eólica pueden coincidir bien con los perfiles de carga de VE,

La carga inteligente será crucial para aprovechar los beneficios de los VE para el sistema eléctrico y viceversa. Es necesario que las instalaciones de carga inteligente sean foco de atención a medida que las ventas de VE aumenten entre el presente y 2030.

incluso si los VE se cargan de manera descontrolada, porque quizás el viento sople más por la tarde y la noche cuando los VE suelen estar cargándose. Por lo tanto, los beneficios progresivos de la carga inteligente serán particularmente significativos en los sistemas solares. Al cambiar la carga a una mejor generación solar FV e implementando V2G, podrían integrarse participaciones mayores de energía solar a nivel del sistema y de la red local, lo que mitigaría la necesidad de inversiones en la red de distribución. Al mismo tiempo, los beneficios de la carga inteligente con energía solar quizás no son fáciles de lograr sin incentivos, ya que la mayor parte de la carga en el hogar se realiza de noche, y la carga rápida que se desarrollará cada vez más suele tener un bajo potencial para VGI.

Punto de acción 5: Estandarizar y garantizar la interoperabilidad entre VE y EVSE

Mantener el ritmo del proceso de normalización a nivel internacional (IEC) de modo que cuando los VE lleguen al mercado masivo a mediados de la década de 2020 estas normas ya puedan aplicarse para facilitar la carga inteligente a escala. Deberían diseñarse de manera que respeten la privacidad y la seguridad de los datos.

La normalización por sí sola no llevará a soluciones interoperables para la recarga de VE. La interoperabilidad es importante para evitar la multiplicación de normas y para garantizar la compatibilidad y la comunicación eficiente. La existencia de normas comunes y la interoperabilidad entre los vehículos eléctricos, la infraestructura de carga y la red eléctrica son una condición previa para que se concrete la carga inteligente. La interoperabilidad del intercambio de datos también es clave para los clientes «itinerantes», es decir, los clientes que desean cargar su vehículo fuera del área de su operador de origen.

Punto de acción 6: Comenzar a aplicar la carga inteligente en sistemas aislados y regiones con alta participación de energía renovable

El foco debe ponerse primero en sistemas aislados, como las islas, donde los VE tendrá menos competencia con otros tipos de flexibilidad (debido a la falta de interconexión, etc.). A su vez, la aplicación temprana de la carga inteligente puede tener un impacto positivo en la expansión del sistema eléctrico, especialmente en los sistemas basados en energía solar.

Deberían explotarse de manera prioritaria las áreas con una elevada penetración local de la generación

distribuida (principalmente de energía solar FV) que tienen alto potencial local de sinergias con los VE cargados de manera inteligente.

Esto debería complementarse con una mayor comercialización y demostración de soluciones de carga inteligente, lo que permitirá una validación en el mundo real de la investigación, el desarrollo y la innovación en este campo.

Punto de acción 7: Diseñar estrategias de carga inteligente al tiempo que se mantiene el parque de energía

La reglamentación centrada en las inversiones a largo plazo debería permitir soluciones de red más allá del enfoque tradicional de ajuste y olvido. La carga inteligente debe desarrollarse teniendo en mente los aspectos específicos de cada sistema eléctrico.

En los sistemas basados en la energía solar, poner el foco en la carga en el lugar de trabajo y otros tipos de carga comercial. Para que la carga de los VE complemente la energía solar, esta carga debe cambiar al medio día, lo que también significa que las estaciones de carga deben estar ubicadas en los lugares de trabajo y otras instalaciones comerciales en las que los propietarios de los VE estacionen sus vehículos durante el día. Los empleadores pueden ofrecer a sus empleados carga gratis con electricidad renovable en la oficina (y pueden usar más tarde en sus casas). Para ello, se deberían promover el precableado y los cargadores inteligentes en los edificios comerciales.

En aquellas regiones/sistemas basados en el viento, donde este sopla más por la tarde y por la noche, hay que enfocarse principalmente en la carga doméstica que tendrá lugar por la noche y ajustarla dinámicamente a las variaciones en la producción de viento.

Punto de acción 8: Localizar la carga de forma óptima desde la perspectiva de la movilidad y el sistema de energía

Apoyar las soluciones más óptimas para las necesidades de movilidad y las necesidades de la red a partir de la etapa de planificación: los promotores deben poder acceder a los datos de la red de distribución sobre la congestión de la red local para poder ubicar los sistemas de cobro en los lugares más óptimos de la red.

La carga inteligente deberá ser complementada además con la inclusión de almacenamiento de energía y fuentes

de energía renovable (principalmente energía solar FV) para lugares de carga rápida a fin de reducir los costos y la necesidad de actualizaciones de la capacidad de las estaciones de carga rápida.

Punto de acción 9: Desarrollar el diseño del mercado eléctrico para la carga inteligente y ajustar las reglamentaciones

El desarrollo de V2G y otros modelos de negocios de baterías de VE deberá estar respaldado por más de una corriente de ingresos (“acumulación” de ingresos de baterías). Las tarifas deberán ajustarse para evitar cobrar dos veces las baterías para uso en la red, impuestos y gravámenes. Será necesario implementar incentivos de mercado que den señales apropiadas a los conductores así como a los actores del mercado como los agregadores, por ejemplo:

- Informar a los clientes y facultarlos alentando señales de precio apropiadas en todas las zonas geográficas. Será necesario tener precios dinámicos y actualizar las tarifas de la red de distribución para indicar a los automóviles los mejores momentos para cargar y descargar. Al mismo tiempo, una mayor automatización permitirá a los conductores y a los prestadores de servicios administrar este sistema.
- La mejor manera de ponerlo en práctica será diseñando mercados mayoristas que permitan el acceso a recursos agregados y mercados minoristas, permitiendo la volatilidad de precios.
- Será necesario diseñar mecanismos adicionales para que los operadores del sistema de distribución puedan comprar flexibilidad localmente, junto con plataformas de flexibilidad que coordinen fuentes entre el uso en todo el sistema y local.

Punto de acción 10: Usar alternativas para complementar la carga de la red

El almacenamiento de baterías redundantes en las estaciones o el intercambio de baterías con almacenamiento suplementario de baterías, que puede tomar potencia de la red en el momento más óptimo y luego usarlo para cargar las baterías de los VE, podría complementar la carga de la red.

Los VE seguirán siendo en principio medios de transporte y servirán solo de manera secundaria como «baterías

No debe subestimarse la evolución a largo plazo del sector de la movilidad, ya que hacerlo podría tener un terrible impacto sobre la disponibilidad de VE para carga inteligente.

para el sistema». La Movilidad como servicio (Maas) y con el tiempo el cambio a los vehículos totalmente autónomos, principalmente en zonas urbanas, no solo impulsará el desarrollo de nuevas tecnologías como la carga inalámbrica, sino que también trasladará la carga de la casa/oficina a los nodos.

Punto de acción 11: Respalda la investigación y el desarrollo holístico de las baterías y la carga

La I&D de baterías y carga debe respaldarse de manera que tenga en cuenta al mismo tiempo las necesidades de la movilidad y de la red. De este modo, las baterías que ya son adecuadas para las necesidades de la red mantendrán sus capacidades.

Punto de acción 12: implicaciones del estudio de la MaaS para la flexibilidad de los VE

Una adopción más amplia de la movilidad eléctrica contribuirá a una mayor flexibilidad del sistema. Sería

necesario estudiar cuidadosamente las implicaciones para la disponibilidad de flexibilidad de los VE, que puede disminuir en un sistema futuro basado en vehículos autónomos compartidos en comparación con un sistema de transporte basado en la propiedad individual de VE. Las zonas urbanas en ciudades desarrolladas pueden verse particularmente impactadas, y las zonas rurales menos.

Punto de acción 13: Construir nodos de carga en las ubicaciones más óptimas considerando las necesidades de infraestructura

La planificación de la carga (nodos eléctricos) debería coordinarse estrechamente con los planes de movilidad para optimizar las necesidades de la red y la movilidad, para evitar el refuerzo costoso de la red y para maximizar el consumo de energía renovable.



Figura 39: Lista de verificación de políticas

Recomendaciones	Lista de acción	
 <ul style="list-style-type: none"> • Promocionar la energía renovable para descarbonizar el sistema eléctrico • Promocionar los VE para descarbonizar el transporte 	1 Fijar metas ambiciosas	 <ul style="list-style-type: none"> • Metas para diferentes tipos de transporte
	2 Respalidar la infraestructura de carga	 <ul style="list-style-type: none"> • Carga pública, carga rápida, viviendas multifamiliares
	3 Mantener o introducir incentivos temporales para automóviles	 <ul style="list-style-type: none"> • Ventajas monetarias vs. otras
	4 Desplegar más renovables	 <ul style="list-style-type: none"> • Objetivos ambiciosos de energía renovable
 <ul style="list-style-type: none"> • Foco en la carga inteligente • Crear incentivos para aprovechar los grandes beneficios incrementales, especialmente del uso solar 	5 Estandarizar y garantizar la interoperabilidad	 <ul style="list-style-type: none"> • Estándares V2G y la interoperabilidad entre VE y equipos de suministro
	6 Implementar en islas y áreas con grandes participaciones de energía renovable	
	7 Diseñar estrategia de carga inteligente que se adapte al parque de energía	 <ul style="list-style-type: none"> • La carga en el lugar de trabajo y comercial serán claves para los “sistemas basados en energía solar”  <ul style="list-style-type: none"> • Sinergias potenciales entre la carga doméstica para “sistemas eólicos”, combinados con energía solar doméstica
	8 Elegir ubicaciones óptimas para la carga	 <ul style="list-style-type: none"> • Sinergias entre movilidad y la red
	9 El diseño de mercado debería permitir la carga inteligente, ajustar reglamentos	 <ul style="list-style-type: none"> • Incentivos para los clientes
	9 El diseño de mercado debería permitir la carga inteligente, ajustar reglamentos	 <ul style="list-style-type: none"> • Evitar dobles pagos de cargos de red e impuestos  <ul style="list-style-type: none"> • Permitir la acumulación de ingresos de VE en diferentes mercados
10 Complementar la carga de la red con almacenamiento en puntos de carga o cambio de batería		
 <ul style="list-style-type: none"> • Estudiar el impacto de la evolución a largo plazo de la movilidad sobre la carga inteligente 	11 Respalidar la I&D sobre baterías y carga considerando las necesidades de la movilidad y la red	
	12 implicaciones del estudio de la movilidad como servicio para la flexibilidad de los VE	
	13 Planificación integrada del sector eléctrico y el transporte	 <ul style="list-style-type: none"> • Construir nodos de carga en ubicaciones óptimas

REFERENCIAS

- ACEA**, 2017. Registration figures. European Automobile Manufacturers Association, Brussels. www.acea.be/statistics/article/Registration-Figures.
- AER**, 2018. *The e-mobility revolution: impact of electric vehicles on the GB power system and emerging utility business models*. Aurora Energy Research, Oxford, Reino Unido.
- AIRQUALITYNEWS.COM**, 2017. "Ford and Deutsche Post DHL unveil electric van". www.airqualitynews.com/2017/08/16ford-deutsche-post-dhl-unveil-electric-van.
- AYRE, J.**, 2017. "Mitsubishi announces V2G pilot project utilizing Outlander PHEVs in Amsterdam". CleanTechnica. <https://cleantechnica.com/2017/10/31/mitsubishi-announces-v2g-pilot-project-utilizing-outlander-phevs-amsterdam/> (consultado en diciembre de 2017).
- BACH ANDERSEN, P. et al.**, 2019. Informe final del proyecto Parker Energy Technology Development and Demonstration Program (EUDP).
- BATTERY UNIVERSITY**, 2018. "BU-1003: Electric vehicle (EV)". http://batteryuniversity.com/learn/article/electric_vehicle_ev.
- BHUNIA, P.**, 2018. "China issues nationwide guidelines for road-testing of autonomous vehicles". OpenGov Asia. www.opengovasia.com/china-issues-nationwide-guidelines-for-road-testing-of-autonomous-vehicles/ (accessed November 2018).
- BMW Y PG&E**, 2017. BMW i ChargeForward: PG&E's Electric Vehicle Smart Charging Pilot. Pacific Gas and Electric, San Francisco. <https://efiling.energy.ca.gov/GetDocument.aspx?tn=221489>.
- BNEF AND MCKINSEY**, 2016. *An integrated perspective on the future of mobility*. Bloomberg New Energy Finance and McKinsey & Company.
- BNEF**, 2018a. *Electric buses in cities, edición global*. Bloomberg New Energy Finance, Londres.
- BNEF**, 2018b. *Autonomous vehicles: Automakers' launch strategies*. Bloomberg New Energy Finance, Londres.
- BNEF**, 2017a. Electric vehicle data hub, edición global. Bloomberg New Energy Finance, Londres.
- BNEF**, 2017b. Global EV and charging policy support database, edición global. Bloomberg New Energy Finance, Londres.
- BNEF**, 2017c. *Long term electric vehicle outlook, edición global*. Bloomberg New Energy Finance, Londres.
- BNEF**, 2017d. "Microsoft uses AI to grow its smart grid, EV charging business". Bloomberg New Energy Finance. <https://about.bnef.com/blog/microsoft-uses-ai-grow-smart-grid-ev-charging-business/> (consultado en noviembre de 2018).
- BNEF**, 2017e. "U.S. utilities offer multiple electric car charging rates". Bloomberg New Energy Finance. <https://about.bnef.com/blog/u-s-utilities-offer-multiple-electric-car-charging-rates/> (consultado en julio de 2018).
- BoA/ML**, 2018a. From pump to plug: EV charging in cities – Major opportunity; major challenge. Bank of America Merrill Lynch.
- BoA/ML**, 2018b. From pump to plug: EV charging expert call series – What we learned. Bank of America Merrill Lynch.
- BRIONES, A. et al.**, 2012. *Vehicle-to-grid (V2G) power flow regulations and building codes review by the AVTA*. Idaho National Laboratory, Idaho Falls, Idaho.
- BUSINESSWIRE**, 2016. "Technavio announces top five vendors in the electric vehicle charging station market in China from 2016 to 2020". BusinessWire. www.businesswire.com/news/home/20160614005085/en/Technavio-Announces-Top-Vendors-Electric-Vehicle-Charging.
- CAMUS, C.**, Farias, T., 2012. "The electric vehicles as a mean to reduce CO₂ emissions and energy cost in

- isolated regions. The São Miguel (Azores) case study". *Energy Policy*, Vol. 43: 153-165.
- CATAPULT**, 2016. *Mobility as a service: Exploring the opportunity for mobility as a service in the UK*. Catapult Transport Systems. Conferencia en Birmingham, Reino Unido.
- CEM-EVI**, 2017. EV30@30 Campaign. Clean Energy Ministerial – Electric Vehicles Initiative.
- CHADEMO ASSOCIATION**, 2018. "Members". www.chademo.com/membership/members (consultado en noviembre de 2018).
- CHARIN**, 2018a. "Members of CharIN e.V.". www.charinev.org/membership/members-of-charin-ev/ (accessed November 2018).
- CHARIN**, 2018b. *The path to a global charging standard*. CharIN e.V.
- CHASE, A.**, 2016. *Economics of vehicle to grid*. E4Tech. www.e4tech.com/wp-content/uploads/2016/09/EV-grid-economics_E4tech_WEB.pdf.
- CHEN, L., WU, Z.**, 2018. "Study on effects of EV charging to global load characteristics via charging aggregators". *Energy Procedia*, Vol. 145: 175-180.
- CREARA**, 2017. *The electric vehicle – A major contributor to EU energy & climate policy objectives*. Creara, Madrid.
- DAIMLER**, 2016. "CASE: New strategic focus for Mercedes-Benz Cars strategy". www.daimler.com/innovation/specials/electric-mobility/case.html (consultado el 27 de diciembre de 2017)
- DE BREY, B.**, 2017. "Smart solar charging: Bi-directional AC charging (V2G) in the Netherlands". *Journal of Energy and Power Engineering*, Vol. 11: 483-490.
- DE VROEY, L.**, 2016. "Is vehicle-to-home or vehicle-to-grid suitable for the electric vehicle user? Discussion from a one year intensive experience". Presentación Simposio EVS29, Montréal.
- DELOITTE**, 2017. *Powering the future of mobility: How the electric power sector can prepare for its critical role in the new transportation ecosystem*. Deloitte Center for Energy Solutions.
- DELTA-EE**, 2018. *The intersection between EVs and electricity – opportunities and threats*. Delta Energy & Environment, Edimburgo.
- DEMOGRAPHIA**, 2017. "Demographia world urban areas". www.demographia.com.
- DEUTSCHE BANK**, 2016. *Welcome to the Lithium-ion age*. Deutsche Bank Markets Research.
- DODGSON, L.**, 2016. "Buses and batteries: A rising sector". Power Technology. www.power-technology.com/features/featurebuses-and-batteries-a-rising-sector-4904956/.
- DYBLE, J.**, 2018. "Understanding SAE automated driving – Levels 0 to 5 explained". Gigabit. www.gigabitmagazine.com/ai/understanding-sae-automated-driving-levels-0-5-explained (consultado en julio de 2018).
- EA TECHNOLOGY**, 2016. "My Electric Avenue". <http://myelectricavenue.info/>.
- EAFO**, 2017. European Alternative Fuels Observatory. www.eafo.eu [consultado en enero de 2018].
- EC**, 2017. Directiva UE 2014/94/EU. *National plans for alternative fuel infrastructure*. Member States fiches. Comisión Europea, Bruselas
- ELINGO**, 2018. *Technology for dynamic on-road power transfer to electric vehicles. Electric infrastructure for goods transport*. www.sintef.no/globalassets/project/elingo/18-0733---rapport-3---technology-for-dynamic-on-road---6-til-nett.pdf.
- ENDESA**, 2014. *Smart Grids*, Dirección de regulación de E&P. Endesa, Madrid.
- ENEL**, 2017. "Enel acquires eMotorWerks to provide grid balancing solutions and tap into us e-mobility market". Enel. www.enel.com/media/press/d/2017/10/enel-acquires-emotorwerks-to-provide-grid-balancing-solutions-and-tap-into-us-e-mobility-market (consultado en marzo de 2018).
- ENEL**, 2016. "Nissan, Enel and Nuvve operate world's first fully commercial vehicle-to-grid hub in Denmark". www.enel.com/media/press/d/2016/08/nissan-enel-and-nuvve-operate-worlds-first-fully-commercial-vehicle-to-grid-hub-in-denmark (consultado en marzo de 2018).

- ENERDATA**, 2016. "Global energy research". Enerdata. www.enerdata.net/research/global-energy-research.html.
- ENERGY EXEMPLAR**, n.d. *PLEXOS Guide*.
- ENGERATI**, 2018. "TenneT tests the blockchain to unlock flexibility". Engerati. www.engerati.com/energy-retail/article/blockchain/tennet-tests-blockchain-unlock-flexibility.
- ENGERATI**, 2017. "Can you recycle or re-use EV batteries?" Engerati. www.engerati.com/energy-management/article/energy-storage/can-you-recycle-or-re-use-ev-batteries (consultado en enero de 2018).
- EPRI**, 2018. *U.S. National electrification assessment*. Electric Power Research Institute, Palo Alto. <http://mydocs.epri.com/docs/PublicMeetingMaterials/ee/000000003002013582.pdf>.
- EURELECTRIC**, 2015. *Smart charging: steering the charge, driving the change*. Eurelectric, Bruselas
- FAGAN, A.**, 2017. "Israel tests wireless charging roads for electric vehicles". *Scientific American*. www.scientificamerican.com/article/israel-tests-wireless-charging-roads-for-electric-vehicles/.
- FEV**, 2017. www.fev.com [consultado en enero de 2018].
- FLEETEUROPE**, 2017. "La Poste runs largest electric fleet in Europe". www.fleeteurope.com/en/news/la-poste-runs-largest-electric-fleet-europe.
- GALLAGHER, C.**, 2018. "New government grant for electric car owners available". *The Irish Times*. www.irishtimes.com/news/environment/new-government-grant-for-electric-car-owners-available-1.3342126 (consultado en enero de 2018).
- GHATIKAR, G., PARCHURE, N., PILLAI, R.J.**, 2017. "Integration of multifarious electric vehicle charging infrastructure flexibility. Applications for India". 1st E-mobility Power System Integration Symposium, Berlín. http://mobilityintegrationsymposium.org/wp-content/uploads/sites/7/2017/11/2B_4_EMob17_222_paper_Ghatikar_Rish.pdf.
- GHOSHAL, D.**, 2017. "Coming soon to India: Electric buses that can swap batteries at petrol pump-like facilities". Quartz India. <https://qz.com/1033014/ashok-leyland-wants-to-bring-electric-buses-that-can-swap-batteries-at-petrol-pump-like-facilities-to-india/>.
- GOGORO**, 2018. "Gogoro 1 Series – Easier". www.gogoro.com/smartscooter/1-series/plus/easier/ (consultado en noviembre de 2018).
- GOODWIN, A.**, 2017. "Qualcomm's inductive charging road could pave the way to new EVs". CNET. www.cnet.com/roadshow/news/qualcomms-inductive-charging-road-could-change-the-way-we-build-evs/.
- GUARDIAN**, 2017. "China to ban production of petrol and diesel cars 'in the near future'". *The Guardian*. www.theguardian.com/world/2017/sep/11/china-to-ban-production-of-petrol-and-diesel-cars-in-the-near-future.
- GUINN, S.**, 2017. "EVSE rebates and tax credits, by state". ClipperCreek. www.clippercreek.com/evse-rebates-and-tax-credits-by-state/ (consultado en diciembre de 2017).
- HAO, H. ET AL.**, 2014. "China's electric vehicle subsidy scheme: Rationale and impacts". *Energy Policy*. Vol. 73: 722-732.
- HERRON, D.**, 2013. "The business model for solar-powered electric car charging". PluginCars.com. www.plugin-cars.com/solar-powered-electric-car-charging-business-model-127710.html.
- HOLDER, M.**, 2018a. "Amsterdam Arena switches on giant Nissan LEAF battery storage system". BusinessGreen. www.businessgreen.com/bg/news/3035094/amsterdam-arena-switches-on-nissan-leaf-battery-storage-system.
- HOLDER, M.**, 2018b. "Ofgem proposes grid incentives to boost flexible electric vehicle charging and renewable power". BusinessGreen. www.businessgreen.com/bg/news-analysis/3036320/ofgem-proposes-grid-incentives-to-boost-flexible-ev-charging-and-renewable-power.
- ICCT**, 2017a. *Emerging best practices for electric vehicle charging infrastructure*. International Council on Clean Transportation, Berlín. www.theicct.org/sites/default/files/publications/EV-charging-best-practices_ICCT-white-paper_04102017_vF.pdf.
- ICCT**, 2017b. *Adjustment to subsidies for new energy vehicles in China*. International Council on Clean Transportation, Berlín. www.theicct.org/sites/default/

[files/publications/China-NEV_ICCT_policy-update_17052017_vF.pdf](#).

- ICCT**, 2016. *Comparison of leading electric vehicle policy and development in Europe*. International Council on Clean Transportation, Berlín. www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EVpolicies-Europe-201605.pdf.
- IEA**, 2018a. "Electric vehicles. Tracking clean energy progress", International Energy Agency, Paris. www.iea.org/tcep/transport/evs/ (consultado en noviembre de 2018).
- IEA**, 2017. *Global EV outlook 2017*. Agencia Internacional de Energía, París.
- IEA**, 2016. *IEA atlas of energy - Country profiles*. International Energy Agency, Paris. <http://energyatlas.iea.org/#!/tellmap/-1118783123/3> (consultado en febrero de 2018).
- INRIX**, 2017. "INRIX identifies top U.S. cities for shared highly autonomous vehicle deployment". INRIX. http://inrix.com/wp-content/uploads/2017/03/INRIX-Automated-Vehicle-Study-2017_FINAL.pdf.
- IONITY**, 2018. www.ionity.eu/ionity-en.html.
- IRENA**, 2019a. *Innovation landscape for a renewable-powered future: Solutions to integrate variable renewables*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA**, 2019b. *Global energy transformation: A roadmap to 2050*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA**, 2017a. *Electric vehicles: Technology brief*. Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dhabi.
- IRENA**, 2017b. *Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030*. Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dhabi.
- IRENA**, 2015. *Renewable energy target setting*. Agencia Internacional de Energías Renovables, Abu Dhabi.
- JAGUAR**, 2018. "Jaguar charges ahead with all-new electric i-PACE". Jaguar. <https://media.jaguar.com/news/2018/03/jaguar-charges-ahead-new-all-electric-i-pace>.
- KARSTEN, J., WEST, D.** 2018. "The state of self-driving car laws across the U.S." Brookings Institution. www.brookings.edu/blog/techtank/2018/05/01/the-state-of-self-driving-car-laws-across-the-u-s/.
- KASTEN, P., BRACKER, J., HALLER, M.**, 2016. *Electric mobility in Europe - Future impact on the emissions and the energy systems*. Öko-Institut e.V. & Transport and Mobility Leuven, Berlín.
- KEMPTON, W.**, 2016. *Grid-integrated vehicle implementation: Learnings and looking ahead*. www.ceem-dauphine.org/assets/dropbox/Kempton-Dauphine-ImpactEVs.pdf.
- KENSINGTON AND CHelsea**, 2017. "Kensington and Chelsea Council, OVO and ubitricity join forces to expand London's first lamp post electric vehicle charging network". The Royal Borough of Kensington and Chelsea. www.rbkc.gov.uk/press-release/kensington-and-chelsea-council-ovo-and-ubitricity-join-forces-expand-london%E2%80%99s-first.
- KOETSIER, J.**, 2017. "Surprise: 70% of millennials do not want electric vehicles". *Forbes*. www.forbes.com/sites/johnkoetsier/2017/04/17/surprise-70-of-millennials-do-not-want-electric-vehicles/#27dfe143f66b.
- LABORELEC**, 2017. "SMATCH - cost-effective EV charging management". www.laborelec.be/ENG/smacth-cost-effective-ev-charging-management/.
- L'AGENCE NATIONALE DE LA RECHERCHE**, 2016. *Projet Helios*.
- LAMBERT, F.**, 2016. "BMW and Bosch open new 2.8 MWh energy storage facility built from batteries from over 100 electric cars". *Electrek*. <https://electrek.co/2016/09/22/bmw-bosch-energy-storage-facility-built-from-batteries-from-over-100-electric-cars/>.
- LAURISCHKAT, K., VIERTELHAUSEN, A., JANDT, D.**, 2016. "Business models for electric mobility". *Procedia CIRP*, Vol. 47: 483-488.
- LEEMPUT, N.**, 2015. *Grid-supportive charging infrastructure for plug-in electric vehicles*. Tesis de doctorado. Universidad de Leuven.
- LÉVAY, P.Z., DROSSINOS, Y., THIEL, C.**, 2017. "The effect of fiscal incentives on market penetration of electric vehicles: A pairwise comparison of total cost of ownership". *Energy Policy*, Vol. 105: 524-533.
- LIENERT, P.**, 2017. "Self-driving costs could drop 90 percent by 2025, Delphi CEO says". *Reuters*. www.reuters.com.

[reuters.com/article/us-autos-delphi/self-driving-costs-could-drop-90-percent-by-2025-delphi-ceo-says-idUSKBNIDY2AC](https://www.reuters.com/article/us-autos-delphi/self-driving-costs-could-drop-90-percent-by-2025-delphi-ceo-says-idUSKBNIDY2AC).

LIVING LAB SMART CHARGING, 2017. www.livinglabsmartcharging.nl/nl/.

LOVEDAY, E., 2017. "China approves NMC battery technology for green car subsidies". InsideEVs. <https://insideevs.com/china-nmc-battery-technology-green-car-subsidies/>.

MANTHEY, N., 2018. "Brussels bans diesel from 2030". electrive.com. www.electrive.com/2018/06/02/brussels-bans-diesel-from-2030/.

MAURI, G., VALSECCHI, A., 2012. "The role of fast charging stations for electric vehicles in the integration and optimization of distribution grid with renewable energy sources". CIRED 2012 Workshop: Integration of Renewables into the Distribution Grid.

McKENZIE, K. ET AL., 2016. "Electrified transportation as a power grid resource". IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Dearborn, Michigan. www.hnei.hawaii.edu/sites/www.hnei.hawaii.edu/files/2016%20ITEC%20IEEE%20Electrified%20Transportation.pdf.

McKINSEY, 2018. *The global electric-vehicle market is amped up and on the rise*. McKinsey & Company. www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-global-electric-vehicle-market-is-amped-up-and-on-the-rise.

McKINSEY, 2014. *Electric vehicles in Europe: Gearing up for a new phase*. McKinsey & Company and Amsterdam Roundtables Foundation, Amsterdam.

MURATORI, M., RIZZONI, G., 2016. "Residential demand response: Dynamic energy management and time-varying electricity pricing". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 31(2): 1108-1117.

NAVIGANT RESEARCH, 2016a. Electric drive buses. Navigant Research.

NAVIGANT RESEARCH, 2016b. Electric drive trucks. Navigant Research.

NAVIGANT RESEARCH, 2016c. Market data: Electric vehicle market forecasts. Navigant Research.

NEDELL, Z.A. ET AL., 2016. "Potential for widespread electrification of personal vehicle travel in the United States". *Nature Energy*, Iss. 1.

NEXTKRAFTWERKE, 2018. "Next Kraftwerke and Jedlix launch initiative to use electric car batteries for grid stability". www.next-kraftwerke.com/news/next-kraftwerke-jedlix-launch-initiative-to-use-electric-car-batteries-for-grid-stability.

NEWMOTION, 2018. "The future of EV charging with V2X technology". NewMotion. <https://newmotion.com/en/drive-electric/v2g-charging-next-generation-technology>.

NHEDE, N., 2018. "Excel Energy to pilot level-2 EV charging in consumer homes". Smart Energy. www.smart-energy.com/industry-sectors/energy-grid-management/excel-energy-ev-charger/.

NISSAN, 2018. "Nissan launches Nissan Energy Solar: The ultimate all-in-one energy solution for UK homes". <https://uk.nissannews.com/en-GB/releases/release-426215639>.

NOEL, L. ET AL., 2019. *Vehicle-to-Grid - A Sociotechnical Transition Beyond Electric Mobility*. Springer Nature Switzerland AG.

OICA, 2017. "World motor vehicle sales by country and type 2005-2017". International Organization of Motor Vehicle Manufacturers. www.oica.net/category/sales-statistics/ (consultado en febrero de 2018).

OLSEN, K., 2017. "How many miles does an average taxi cab driver drive yearly?" Career Trend. <https://career-trend.com/how-many-miles-does-an-average-taxi-cab-driver-drive-yearly-13658842.html>.

ONTARIO, 2018. *O. Reg. 332/12: BUILDING CODE*. Gobierno de Ontario. www.ontario.ca/laws/regulation/120332.

OVO ENERGY, 2018. "EV everywhere". www.ovoenergy.com/ev-everywhere (accessed November 2018).

OVO ENERGY, 2017. "Nissan and OVO announce a new collaboration to accelerate the adoption of home battery storage in the UK". www.ovoenergy.com/

[ovo-newsroom/press-releases/2017/october/nissan-and-ovo-announce-a-new-collaboration-to-accelerate-the-adoption-of-home-battery-storage-in-the-uk.html](https://www.ovo-newsroom.com/press-releases/2017/october/nissan-and-ovo-announce-a-new-collaboration-to-accelerate-the-adoption-of-home-battery-storage-in-the-uk.html).

- PASAOGLU, G. ET AL.**, 2013. *Projections for Electric Vehicle Load Profiles in Europe Based on Travel Survey Data*. European Commission Joint Research Centre, Petten. https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/reports/Projections_for_Electric_Vehicle_Load_Profiles_in_Europe_Based_on_Travel_Survey_Data.pdf
- PASAOGLU, G. ET AL.**, 2012. *Driving and parking patterns of European car drivers – a mobility survey*. European Commission Joint Research Centre, Petten. https://setis.ec.europa.eu/system/files/Driving_and_parking_patterns_of_European_car_drivers-a_mobility_survey.pdf.
- PASCALE-LOUISE BLYTH, S.**, 2011. *Electric cars on the 100% renewable energy island of Samsø*. Tesis de maestría. Universidad de Aalborg. https://projekter.aau.dk/projekter/files/52872570/SEPM4_2011_8.pdf.
- PERKOWSKI, J.**, 2017. “How China is raising the bar with aggressive new electric vehicle rules”. *Forbes*. www.forbes.com/sites/jackperkowski/2017/10/10/china-raises-the-bar-with-new-electric-vehicle-rules/#a92230977acf.
- PFARRHERR, B.**, 2018. *Controlling private e-mobility charging points in public low voltage grids*. Stromnetz Hamburg, Viena.
- PG&E**, 2018. “Electric vehicle (EV) rate plans”. Pacific Gas and Electric. www.pge.com/en_US/residential/rate-plans/rate-plan-options/electric-vehicle-base-plan/electric-vehicle-base-plan.page?WT.mc_id=Vanity_pevrates.
- PLANGRIDEV**, 2016a. *Analysis and performance evaluation as basis for further recommendations*.
- PLANGRIDEV**, 2016b. *Distribution grid planning and operational principles for electric vehicle mass roll-out while enabling integration of renewable distributed energy resources*.
- PORSCHE**, 2016. “800-volt charging”. <https://newsroom.porsche.com/en/technology/porsche-engineering-e-power-electromobility-800-volt-charging-12720.html> (consultado el 6 de agosto de 2018).
- PYPER, J.**, 2018. “BMW’s plan to optimize EV charging with renewables on the grid”. Greentech Media. www.greentechmedia.com/articles/read/bmw-optimizing-ev-charging-renewable-energy#gs.0Fv6LQE.
- PYZYK, K.**, 2017. “Atlanta passes infrastructure ordinance to support EV charging”. Smart Cities Dive. www.smartcitiesdive.com/news/atlanta-passes-infrastructure-ordinance-to-support-ev-charging/511500/.
- RAMÍREZ DÍAZ, A. ET AL.**, 2015. “Impact of electric vehicles as distributed energy storage in isolated systems: The case of Tenerife”. *Sustainability*, Vol. 7(11): 15152-15178.
- RAO, R. ET AL.**, 2015. “Optimizing electric vehicle users’ charging behaviour in battery swapping mode”. *Applied Energy*, Vol. 155: 547-559.
- RECC**, 2019, “An introduction to Electric Vehicle home chargepoints”, Renewable Energy Consumer Code, www.recc.org.uk/images/upload/news_240_Consumer-Guidance-on-EV-Home-Chargepoints-14.pdf.
- REID, G., JULVE J.**, 2016. *Second-life batteries as flexible storage for renewable energies*. Bundersverband Erneuerbare Energie e.V. y Hannover Messe. www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Studien/201604_Second_Life-Batterien_als_flexible_Speicher.pdf.
- RENAULT**, 2017. “Renault preparing infrastructures for the connected car of the future, with SCOOP”. <https://group.renault.com/en/news/blog-renault/renault-preparing-infrastructures-for-the-connected-car-of-the-future-with-scoop/>.
- RENEWABLES & ENVIRONMENT**, 2017. “Renault & Powervault to reuse EV batteries in home storage. Renewables & Environment”. www.renewablesandenvironment.com/mag/renault-powervault-to-reuse-ev-batteries-in-home-storage/.
- RMI**, 2016. *Electric vehicles as distributed energy resources*. Rocky Mountain Institute, Basalt. https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/04/RMI_Electric_Vehicles_as_DERs_Final_V2.pdf.
- SANTI, P.**, 2017. Interview

- SAUER, N., STEFANINI, S.**, 2018. "Spain, Europe's second largest carmaker, plans combustion engine ban". Climate Home News. www.climatechangenews.com/2018/11/13/spain-plans-ban-petrol-diesel-cars-fossil-fuels-subsidies/.
- SCHEWEL, L.**, 2017. "4 ways big data can help with electric vehicle charger deployment". StreetLight Data. www.streetlightdata.com/4-ways-big-data-can-help-with-electric-vehicle-charger-deployment.
- SCHUCHT, B.**, 2017. "The development of e-mobility from the perspective of a German TSO". 50Hertz.
- SHAHAN, Z.**, 2017. "28-40% of EV drivers have solar panels". CleanTechnica. <https://cleantechnica.com/2017/06/25/28-40-ev-drivers-solar-panels-cleantechnica-ev-report/>.
- SIEMENS**, 2017. "Desigo – the state-of-the-art building automation system". www.siemens.com/global/en/home/products/buildings/automation/desigo.html (consultado en 2017).
- SLOCAT**, 2017. *E-mobility trends and targets*. Partnership on Sustainable, Low Carbon Transport. http://slocat.net/sites/default/files/e-mobility_overview.pdf.
- SMART CITIES CONNECT**, 2017. "University of Warwick demonstrates vehicle-to-grid technology". Smart Cities Connected. <https://smartsconnected.org/university-of-warwick-demonstrates-vehicle-to-grid-technology/>.
- ST. JOHN, J.**, 2015. "How EV chargers and energy storage can make good grid partners". Greentech Media. www.greentechmedia.com/articles/read/how-ev-chargers-and-energy-storage-can-make-good-grid-partners.
- SUH, N.P., CHO, D.H.**, 2017. "Wireless power transfer for electric vehicles". En: *The On-Line Electric Vehicle*. Springer.
- SULLIVAN, M.**, 2018. "The little company that's bringing wireless charging to electric cars". Fast Company. www.fastcompany.com/40533008/the-little-company-thats-bringing-wireless-charging-to-electric-cars.
- TAIBI, E., FERNÁNDEZ, C.**, 2017. *The impact of electric vehicles deployment on production cost in a Caribbean Island country*. IRENA Innovation and Technology Center (IITC), Bonn.
- TALJEGARD, M.**, 2017. *The impact of an electrification of road transportation on the electricity system*. Chalmers University of Technology, Gotemburgo.
- TBC**, 2017. *Battery packs of modern xEVs report*. Total Battery Consulting.
- TESLA**, 2018. "Tesla semi". www.tesla.com/semi (accessed March 2018).
- THE CLIMATE GROUP**, 2017. "Multinationals launch global program to speed up switch to electric vehicles". www.theclimategroup.org/news/multinationals-launch-global-program-speed-switch-electric-vehicles.
- TRACTEBEL**, 2018. Internal studies. Tractebel, Bruselas.

- TRICOIRE, J-P., STARACE, F.** 2018. "These 3 elements are crucial for the future of electric cars". Foro Económico Mundial. www.weforum.org/agenda/2018/02/mobility-future-electric-cars-fourth-industrial-revolution/.
- TURPEN, A.**, 2016. "California to get utility-owned EV charging stations with dynamic pricing". New Atlas. <https://newatlas.com/california-electric-car-utility-charging/41585/>.
- UCS**, 2017. *Accelerating US leadership in electric vehicles*. Union of Concerned Scientists, Washington, D.C. www.ucsusa.org/sites/default/files/attach/2017/09/cv-factsheets-ev-incentives.pdf?_ga=2.108452610.1630188791.1517413160-1434713090.1436805699 [consultado en noviembre de 2018].
- UITP**, 2016. *ZeEUS eBus report: An overview of electric buses in Europe*. ZeEUS project. <http://zeeus.eu/uploads/publications/documents/zeeus-ebus-report-internet.pdf>.
- UK GOVERNMENT**, 2016. "Grant schemes for electric vehicle charging infrastructure". www.gov.uk/government/collections/government-grants-for-low-emission-vehicles (consultado en enero de 2018).
- V2G CLARITY**, 2017. *IEC 63110 - Standardizing the management of electric vehicle (dis-)charging infrastructures*. www.v2g-clarity.com/en/blog/iec-63110-standardizing-management-of-ev-charging-infrastructures/.
- VAN DEN STEEN, F.**, 2018. "Cities' policies push electric vehicles". Global Fleet. www.globalfleet.com/en/safety-environment/global/analysis/cities-policies-push-electric-vehicles.
- VATTENFALL**, 2017. "Vattenfall is switching its whole car fleet to electric vehicles". <https://corporate.vattenfall.com/press-and-media/press-releases/2017/vattenfall-is-switching-its-whole-car-fleet-to-electric-vehicles/>.
- VIRTA**, 2017. "Public bidirectional EV charging point installed to Finland". www.virta.global/news/the-first-public-bidirectional-ev-charging-point-to-finland.
- WALLBOX**, 2018. www.wallbox.com (consultado en enero de 2018).
- WEILLER, C.**, Sioshansi, R. 2016. "The role of plug-in electric vehicles with renewable resources in electricity systems". *Revue d'économie industrielle*, vol. 148: 291-316.
- WENYU, S.**, 2017. "China builds world's largest EV charging network with 167,000 stations". People's Daily Online. <http://en.people.cn/n3/2017/0906/c90000-9265487.html>.
- WHO**, 2018. "Air pollution". World Health Organization, Ginebra. www.who.int/airpollution/ambient/en/.
- XCEL ENERGY**, 2015. "Electric vehicle charging station".

ANEXO 1. Incentivos para desplegar VE e infraestructura de carga

Incentivos monetarios directos para VE

Los incentivos monetarios financieros y fiscales (relacionados con los ingresos e impuestos del gobierno) apuntan a alentar la compra de VE a través de subvenciones por única vez así como a reducir sus costos de propiedad. Los tipos más comunes de prácticas financieras y fiscales incluyen:

- *Subsidios o subvenciones para la compra:* Este tipo de incentivos entregan incentivos monetarios directos para respaldar la compra de VE, el reemplazo de flotas del sector comercial o público con VE y la instalación de servicios de carga de VE. Los subsidios o subvenciones suelen ser parte del presupuesto del gobierno para promocionar la movilidad sostenible y se renuevan y revisan cada año.
- *Esquemas de desguace:* Existen múltiples variaciones de este tipo de incentivos, llevados a cabo por los gobiernos, en todo el mundo, pero el mecanismo de base es desguazar un vehículo contaminante viejo a cambio de obtener un descuento en la compra de uno nuevo con mejor desempeño ambiental.
- *Tarifas eléctricas:* Las empresas de servicios públicos ofrecen descuentos a los clientes públicos y privados en las tarifas eléctricas por cargar sus BEV o PHEV, lo que reduce el costo total de los VE.
- *Exención o reducción de impuestos:* Incluye una amplia gama de incentivos con el fin de reducir los costos fiscales que implica comprar un vehículo nuevo. En este sentido, los VE pueden ser exceptuados del impuesto al valor añadido (IVA), impuestos de registro, impuestos por circular por rutas, impuestos a la propiedad automotriz e impuestos de compra, entre otros.
- *Crédito en el impuesto sobre la renta:* En este tipo de incentivo, las empresas o los clientes privados que hayan instalado equipos de carga eléctrica o hayan comprado vehículos nuevos con combustible alternativo pueden calificar para recibir un crédito en el impuesto sobre la renta igual a un porcentaje determinado de los costos totales de la inversión, o bien equivalente a un crédito calculado. El concepto es similar al de los subsidios para la compra, aunque difiere en la manera de recibir el dinero. En este caso, el crédito se devuelve al beneficiario cuando presenta su declaración impositiva anual.

Estudio de casos Incentivos monetarios directos para VE en Francia y China

Francia ha recurrido a un sistema de bonus-malus que ofrece una subvención para comprar un vehículo poco contaminante y ha establecido una sanción por la compra de un vehículo muy contaminante desde 2008. La subvención cubría el 27 % del precio de compra o hasta 6300 euros para un BEV y 20 % o hasta 4000 euros para un PHEV. El incentivo demostró tener efectividad ya que la cantidad de ventas aumentó año tras año. En abril de 2015, las ventas de VE en Francia aumentaron y superaron el 1 % de penetración en el mercado. Esto fue el resultado de la introducción de un esquema de desguace de 3700 euros sumado al sistema bonus-malus. Desde abril de 2015, los usuarios que desguazan un automóvil diésel y compran un VE podrían beneficiarse con un incentivo fiscal de 10 000 euros para un BEV y de 7700 euros para un PHEV (Lévay et al., 2017).

A lo largo de los años, el gobierno central de China ha ofrecido una importante financiación para respaldar la compra de VE bajo el Esquema de subsidios para vehículos eléctricos (EVSS, en inglés) lanzado en 2009. En un principio, los subsidios estaban disponibles solo para la adquisición pública, pero una extensión de 2010 hizo que los clientes privados también pudieran calificar para las subvenciones. El esquema cubría una amplia variedad de tipos de vehículos: autobuses, camiones para transporte de carga y automóviles de pasajeros.

Para esta última categoría, el EVSS inicial de China duró hasta fines de 2012 y entregó hasta 50 000 yuanes renminbi para un PHEV y 60 000 yuanes renminbi para un BEV según la potencia nominal, el rango eléctrico y la densidad de energía de la batería. El esquema se renovó para el periodo 2013 a 2015 con una actualización de los montos de los subsidios de 35 000 yuanes renminbi para un PHEV entre 35 000 y 60 000 yuanes renminbi para un BEV. En 2016 se volvió a extender el esquema para el periodo 2016 a 2020 y la eliminación gradual del programa de subsidios se fijó para 2021. Para complementar los subsidios únicos, en 2014 el gobierno de China anunció una exención del 10 % del impuesto sobre la compra de VE (Hao et al., 2014; ICCT, 2017b; Perkowski, 2017).

Incentivos no monetarios para VE

Además de los objetivos de movilidad eléctrica y los acuerdos colectivos dirigidos y apoyados por los gobiernos y las organizaciones de los países, los incentivos no monetarios más comunes implementados por las autoridades locales incluyen:

- *Permisos de circulación:* Al ser vehículos poco contaminantes, los VE pueden estar exentos de las restricciones a la circulación en las zonas céntricas de las ciudades, pueden beneficiarse de exenciones o descuentos en los peajes y se les puede permitir circular por los carriles reservados para el transporte público.
- *Permisos de estacionamiento:* Los usuarios de VE pueden tener prioridad cuando solicitan un permiso para estacionar o pueden beneficiarse con estacionamiento libre.
- *Carga gratuita:* Los usuarios de VE pueden tener derecho a recargar sus baterías gratuitamente en ciertos lugares.
- *Exención de la prueba de emisiones:* Una práctica común en los EE. UU. es exceptuar a los BEV y los PHEV de las inspecciones de emisiones.

Estudio de casos Incentivos (no monetarios) directos en países seleccionados

China: Una práctica común para reducir la contaminación atmosférica y limitar la congestión del tráfico en China consiste en aplicar restricciones viales en función del último número de la matrícula de un vehículo. Las ciudades de Beijing y Tianjin han eximido a los vehículos eléctricos de esta práctica, y les permiten circular independientemente del día y la hora (Van den steen, 2018).

Alemania: En virtud del reglamento federal de movilidad eléctrica, aprobado en 2015, los municipios tienen derecho a otorgar beneficios especiales a los vehículos de bajas emisiones o eléctricos. Los privilegios incluyen estacionamiento gratuito o preferencial, acceso a carriles de vehículos de alta ocupación y acceso a zonas de tráfico restringido. El reglamento se aplica a todo el país, sin embargo, asigna a los municipios la responsabilidad de diseñar e implementar los incentivos. Stuttgart, por ejemplo, ofrece estacionamiento gratuito para los vehículos eléctricos en los espacios de estacionamiento público (ICCT, 2016).

Países Bajos En los Países Bajos no existen incentivos no fiscales planificados a nivel nacional, sin embargo, muchas municipalidades han diseñado su propia estrategia de incentivos directos. En Ámsterdam, por ejemplo, los conductores de VE tienen prioridad de acceso a permisos de estacionamiento y también tienen plazas de estacionamiento reservadas cerca de estaciones de carga (ICCT, 2016).

Noruega Como país con la mayor penetración de VE en el mundo, Noruega ha estado ofreciendo beneficios no monetarios a los usuarios de VE durante muchos años. Si bien estos privilegios los implementan las municipalidades y pueden diferir de una ciudad a otra, el gobierno regula los subsidios a nivel nacional. Los conductores de VE tienen libre acceso a las carreteras de peaje, se benefician con tarifas reducidas en transbordadores, tienen permitido circular por los carriles de autobuses y pueden cargar y estacionar sus vehículos gratuitamente en lugares públicos. Los VE también están identificados con una placa de matrícula especial (ICCT, 2016)



ANEXO 2. Estado de las tecnologías de baterías para VE y las estaciones de carga

Adecuación de las tecnologías de almacenamiento de los VE para brindar servicios de red

Se necesitan alrededor de 300 ciclos de carga completos por año para que una batería proporcione un balance en todo el sistema o una optimización detrás del medidor mediante la absorción del exceso de electricidad renovable, para la limitar la fluctuación. Se requiere una gran tolerancia a la profundidad de descarga (DoD). Todos los tipos de baterías de iones de litio son los más adecuados en la actualidad. Sin embargo, la tecnología de baterías de flujo redox, con su largo ciclo de vida, es capaz de someterse a una alta DoD y puede brindar este servicio. El polímero de litio metálico (LMP) podría ser adecuado en términos de DoD pero se enfrenta a limitaciones debido a la alta temperatura y la alta autodescarga. La tecnología de ZEBRA no es capaz de alcanzar el 100 % de la DoD y no puede ser prevista aquí.

Para la *aplicación del tiempo de uso*, en la que se puede pedir al consumidor que cambie su consumo, la energía es más importante que la potencia. Debido a que la energía y la potencia puede ser escalables de manera independiente para las baterías de flujo redox, serían adecuadas en este tipo de situación. La tecnología de iones de litio también es adecuada para esta aplicación.

Los *servicios complementarios* se usan para equilibrar la red de electricidad, es decir para mantener la frecuencia de la red alrededor de la referencia (50 hertzios en Europa y 60 hertzios en los EE. UU.). Estos servicios pueden ser adquiridos en mercados de reserva (donde existan), que pueden dividirse en reserva primaria, reserva secundaria y reserva terciaria⁹.

- Para la reserva primaria, la DoD y la participación de la batería son más fluidas que en el caso del balanceo de energías renovables. Cuando la frecuencia cae, la batería debe inyectar potencia (y viceversa). Para hacerlo, el estado de carga de la batería mencionada sigue siendo rondando el 50 % y fluctuará en una

banda estrecha alrededor de este nivel. Por ejemplo, en Bélgica aproximadamente deben considerarse por día 1,5 ciclos equivalentes completos por día. Estos ciclos equivalentes completos constan de múltiples ciclos con baja DoD, lo cual es más conservador para el envejecimiento de la tecnología. Las brechas de frecuencia aparecen menos seguido, y las baterías pueden utilizarse con una tasa C inferior a 1C (tanto para carga como para descarga).

- Para la reserva secundaria, el tiempo de reacción necesario es menor y la cantidad de ciclos requeridos es menor en comparación con la reserva de contención de frecuencia (FCR, en inglés).
- Para la reserva terciaria, el tiempo de reacción necesario es menor y la cantidad de ciclos requeridos es menor, incluso en comparación con la reserva de restauración de frecuencia automática (aFRR, en inglés). La energía necesaria es mayor (tasa C menor) en comparación con FCR y aFRR.

Las baterías de ion de litio y de flujo redox pueden usarse para este fin, ya que esta aplicación es menos problemática para las baterías. El LMP sufre las mismas limitaciones que el almacenamiento renovable (mantenimiento en un entorno de alta temperatura), y su uso en esta aplicación tiene que ser confirmado.

Para la *aplicación de reserva* (reducir la dependencia de la red de electricidad y reducir la factura de energía cargando electricidad barata en las horas de menor consumo), se ha demostrado la relevancia de una batería. La frecuencia de los ciclos depende de la confiabilidad de la red, pero el perfil sigue siendo el mismo: la batería debe enfrentar una larga duración del estado de carga y soportar una DoD profunda, como en el caso del balanceo renovable, pero también son posibles largos tiempos de espera con un estado de carga completo.

El ion de litio suele no ser el más adecuado en este tipo de situaciones, ya que estas baterías envejecerán más rápidamente en un estado de carga (no estable)

9 También llamadas R1, R2 y R3 o Reserva de contención de frecuencia (FCR), Reserva de restauración de frecuencia automática (aFRR) y Reserva de restauración de frecuencia manual (mFRR) en Europa.

en comparación con las baterías de plomo ácido. Para utilizar ion de litio como reserva durante mucho tiempo, la batería tendría que mantenerse parcialmente cargada, no totalmente cargada, para mantener una química estable y evitar toda fuga o disminución drástica de la capacidad (por lo que usa la batería solo en una parte de su capacidad). Aunque el plomo ácido no realiza ciclos tan bien como el ion de litio, puede mantenerse en un estado de carga elevado durante mucho tiempo sin envejecer.

Niveles y modos de carga de potencia

Los tres niveles de salida de potencia comúnmente distinguidos (terminología utilizada principalmente en América del Norte) son:

- Cargadores de Nivel 1 (CA \leq 3.7 kW) son dispositivos instalados en casas particulares, cuyo propósito primario no es recargar VE.
- Cargadores de Nivel 2 (CA $>$ 3,7 kW y \leq 22 kW) están instalados principalmente en lugares públicos o privados.
- Cargadores de Nivel 3 (CA o CC $>$ 22 kW) están instalados principalmente en autopistas.

En Europa, los Niveles 1 y 2 se mencionan como cargadores lentos, y el Nivel 3 recibe el nombre de cargadores rápidos. En América del Norte, los tres niveles están definidos en la SAE J1172.

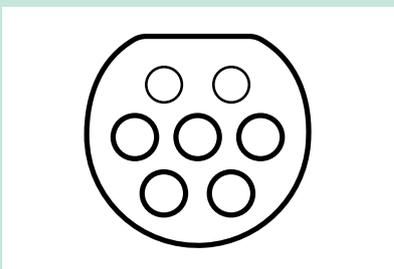
El modo es un concepto de una norma que se refiere principalmente al sistema de protección eléctrica requerido, que está vinculado al rango de potencia. La norma IEC61851-1:2017 define cuatro «modos» de carga para cargar por cable que difieren en términos de sus funcionalidades. Las especificaciones técnicas de los diferentes modos de carga, incluidos los tipos de enchufes y conectores utilizados, figuran en el cuadro 20.

Para el Modo 3, hay tres tipos de enchufes definidos en la norma IEC 62196:

- Tipo 1, también conocido como «enchufe Yazaki» y definido en la SAE J1772. Se usa en América del Norte y Japón.
- Tipo 2, también conocido como «enchufe Mennekes». Es un enchufe recomendado por la UE.
- El tipo 3 es ahora obsoleto. Se promocionó en el pasado en Francia e Italia.

Además, China está usando GB/T 20234.2 para el Modo 3.

Tabla 20: Modos de carga en detalle y tipos correspondientes de enchufes conectores

Modo 1	Modo 2	Modo 3
		
Conexión de un VE a un enchufe-salida estándar de una red de suministro de CA	Conexión de un VE a un enchufe-salida estándar de una red de suministro de CA	Conexión de un VE a un equipo de suministro de CA a VE conectado permanentemente a una red de suministro de CA
Sin piloto suplementario ni contactos auxiliares	Cable con piloto de control y protección personal contra descargas eléctricas	La función del piloto de control se extiende desde el equipo de suministro de VE de CA hasta el VE
Máx. 16 A por fase, fase 1 o 3	Máx. 32 A por fase, fase 1 o 3	Máx. 63 A por fase, fase 1 o 3; en general, Los EVSE no superan los 32 A por fase
En la mayoría de los países, esta solución no se recomienda y algunas veces está prohibida o se limita a una corriente menor	Prohibida para la carga pública o limitada a corrientes menores en algunos países	La solución de carga con CA más segura

Modo 4:
Conexión de un VE a una red de suministro de CA o CC utilizando equipo de suministro de VE de CC.
La función del piloto de control se extiende desde el equipo de suministro de VE de CC hasta el VE
Máx. 200 kW hoy, con 350 kW anunciados.

CHAdemo

CCS1/2

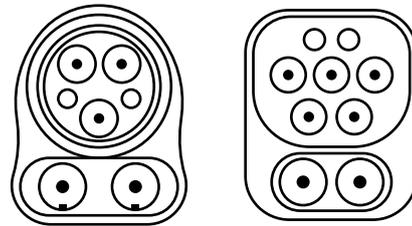
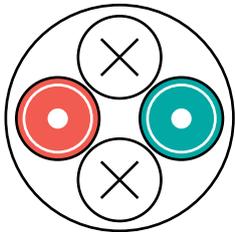
Norma internacional de origen japonés, publicada por los principales organismos de normalización (IEC, IEEE, EN y JIS); enchufes idénticos en todo el mundo Usada por fabricantes de automóviles japoneses, coreanos y algunos europeos.

En la actualidad suele ser de 50 kW, pero la Asociación CHAdemo ya ha aumentado hasta 400 kW en su última edición.

Norma industrial estadounidense, de la cual CCS2 es el requisito mínimo exigido por la UE

(todas las soluciones de recarga en modo 4 deben implementar al menos un conector CCS en la UE).

En la actualidad suele ser de 50 kW, pero algunos modelos nuevos tal como el Jaguar I-PACE y el Audi e-Tron pueden cargar a mayor potencia (100-150 kW). Los primeros cargadores de 350 kW estaban siendo desplegados en 2018, *por ejemplo*, en el proyecto Ionity (Ionity, 2018).



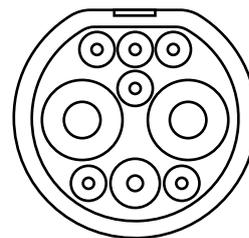
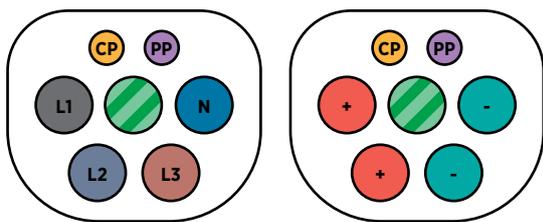
Tesla

GBT

Tecnología de carga patentada compatible con los automóviles Tesla en los Supercargadores, normalmente 120 kW hoy en día.

Los mismos pines de conector para carga de CC y CA pero los enchufes de EE. UU./UE son diferentes.

En China, para el modo 4, se utiliza la norma GB/T 20234.3 (CharIN, 2018b).



Perspectiva de las tecnologías de carga

Tabla 21: Resumen de las soluciones de carga para automóviles y vehículos de servicio pesado (en general autobuses)

	Automóvil PHEV	Automóvil BEV	Autobús PHEV	Autobús BEV
Carga con cable 3-50 kW	Madura		Madura Utilizada para cargar en terminales 50 kW.	
Carga con cable 100 kW	En desarrollo	En desarrollo Se esperan 150 kW para 2017-2018 Principalmente necesaria cuando se requiere gran autonomía (por ej., autopista)	En desarrollo	En desarrollo Potencialmente útil para paradas relativamente largas (10 minutos)
Carga inalámbrica estática 3-22 kW	Emergente Pilotos de fabricantes de equipos originales Disponibles con reacondicionamiento Uso en flota esperado en 2018; comercialización de automóviles (de lujo) esperada para 2019 Estandarización limitada		Baja madurez Pilotos	
Carga inalámbrica estática >50 kW	En consideración		Cantidad actualmente limitada de líneas comerciales, potencial crecimiento	
Carga dinámica inalámbrica	Cantidad muy limitada de pilotos; potencial crecimiento limitado		Cantidad limitada de pilotos; costoso	
Pantógrafos (100 kW - 1 MW)	No disponible		Actualmente líneas comerciales, crecimiento potencial moderado	
Intercambio de baterías	Proyectos anteriores, obsoletos		Cantidad de pilotos muy limitada en Asia; potencial muy limitado por complejidad y costos altos	
Líneas aéreas	NA Motor de combustión interna podría usarse como respaldo	Obsoleto	En declive	
Riel por tierra	I&D			

ANEXO 3. Modelos de negocios para prestadores de servicios de carga de VE

El modelo de **proveedor servicios de carga** incluye la instalación y mantenimiento de estaciones de carga públicas y privadas para clientes. Algunos submodelos incluyen la fabricación o suministro de los puntos de carga en sí y la provisión de servicios relacionados. Para la carga privada, el cliente paga por el punto de carga, y la energía se vende en el contrato. En el caso de la carga pública, la financiación pública ha demostrado ser eficiente para limitar el elevado costo de capital inicial, y la principal fuente de ingresos también proviene de la recarga.

Los principales actores en el mercado son las empresas de energía, las empresas de tecnología y las empresas independientes especializadas:

- *Empresas de servicios públicos* que se centran en la instalación y operación de puntos de carga.

Entre los ejemplos se incluyen empresas de servicios públicos alemanas (E.ON, Vattenfall, innogy, EnBW) que son propietarias de más del 35 % de la infraestructura de carga pública de Alemania, y el programa Charge & Drive de Fortum en Finlandia. En Noruega, la empresa de servicios públicos de Grønn Kontakt opera una red nacional de carga rápida de CC de 140 cargadores, con Statkraft como principal accionista. En algunos casos, los operadores del sistema de distribución podrían instalar y operar puntos de carga (*por ejemplo*, la asociación Elaad en los Países Bajos¹⁰).

La red de carga más grande del mundo es operada por State Grid de China (Wenyu, 2017), que tenía el monopolio de la gestión y suministro de estaciones de carga pero más recientemente ha abierto el mercado a la competencia de actores privados (BusinessWire, 2016). Con muchos modelos nuevos de VE que se introducirán en el mercado en 2018/19, se prevé la inauguración de más estaciones de carga, por ejemplo Enel en Italia y E.On y Clever, un grupo de cinco empresas de servicios públicos danesas. (Tabla 8).

- *Grandes empresas de tecnología* (como Bosch y Schneider Electric), para las cuales la fabricación de estaciones de carga representa solo una pequeña parte de su cartera.

Empresas independientes especializadas, con una variedad de submodelos, que fabrican o instalan y operan puntos de carga y prestan servicios relacionados tales como soporte de mantenimiento y servicios de datos en la nube.

El más típico es el modelo «poseer y operar», combinado a menudo con una oferta de software como servicio (SaaS). Por ejemplo, a menudo se ofrecen actualizaciones periódicas de software y suscripciones para la carga inteligente (*por ejemplo*, por los dos mayores operadores europeos de estaciones de carga, EVBox y NewMotion).

Un modelo alternativo, desarrollado por ChargePoint, cubre alrededor del 70% del mercado estadounidense. ChargePoint vende una solución llave en mano que combina hardware, activos fijos bajos (no son propietarios de sus estaciones) e ingresos basados en servicios (SaaS). Todas las estaciones de carga de ChargePoint están conectadas a Internet (3G o 4G) con capacidad de gestionar las estaciones en tiempo real desde cualquier lugar del mundo, lo cual no es habitual. También hay submodelos basados en otras fuentes de ingresos, como la publicidad (*por ejemplo*, Volta, con sede en California).

Este mercado ha experimentado recientemente una consolidación importante. En 2017, ENGIE adquirió EVBOX, y varias empresas petroleras, que en un principio buscaban sinergias entre las estaciones de gasolina tradicionales y con el tiempo nuevos modelos de negocios, han mostrado interés en la carga de VE. En 2017, Shell compró NewMotion, el operador de puntos de carga eléctrica más grande de Europa con una red de 80 000 sitios.

¹⁰ No son parte de la base de activos reglamentados de operadores reglamentados en Europa.

ANEXO 4. Desarrollos esperados en tecnología de VE

Costo y competitividad de los VE

En la actualidad, los VE no tienen un costo competitivo en comparación con los vehículos con MCI equivalentes debido a sus mayores costos iniciales, causados por los altos costos actuales de las baterías.

En el mediano plazo, es probable que se llegue a una paridad en el costo total de propiedad (TCO) sin subvencionar y que haga que los VE sean competitivos en base al costo de por vida. El margen seguirá siendo limitado, y la competitividad de una elección o la otra será muy sensible al kilometraje anual.

En la Figura 40 se muestra que, sin subsidios ni exenciones impositivas, un vehículo diésel fue un 31 % más barato en 2016 que su VE equivalente. En 2030, los vehículos diésel serán solo un 6 % más baratos.

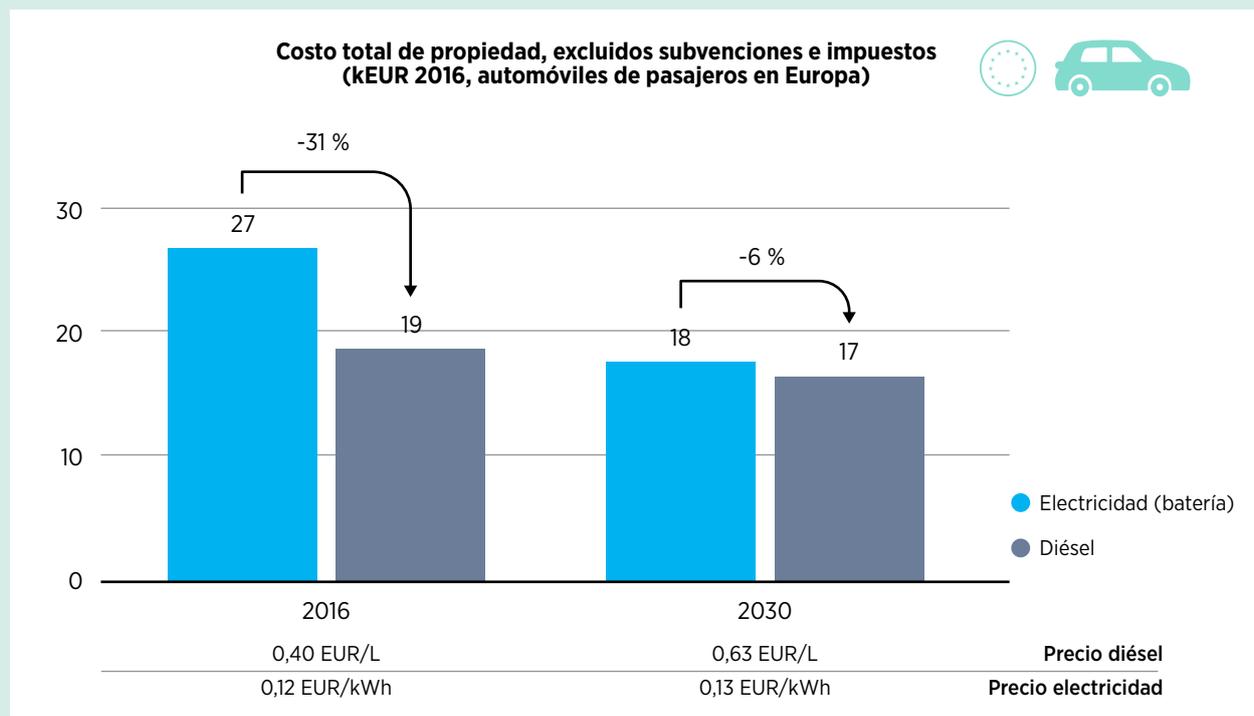
Detrás de esta tendencia hay tres grandes tendencias y factores: la reducción del gasto de capital de los vehículos eléctricos (CAPEX), el aumento de los precios

del combustible diésel y la distancia media recorrida con los vehículos. También es necesario examinar el régimen regulatorio para obtener una imagen completa.

Primero y principal, el aspecto económico del costo total de propiedad de los VE está impulsado por su mayor precio de compra. En 2016, un automóvil para pasajeros eléctrico típico costaba aproximadamente un 25 % más que su equivalente diésel (CEEME, 2016a). Si bien el funcionamiento de un VE es más barato debido al menor precio de la electricidad por km (versus un diésel), los ahorros de combustible no compensan por el momento los mayores CAPEX. Gran parte del descenso del 30 % en el costo total de propiedad del VE presentado en la figura 43 se debe a la disminución del CAPEX del VE, que a su vez se debe a la disminución del CAPEX de la batería.

Considerando que las baterías representaban un 40 % del costo de un VE nuevo en 2016 (CEEME, 2016a), esta marcada disminución de los costos de la batería mejora en gran medida el CAPEX general del VE. Mientras tanto, el CAPEX de los vehículos diésel, una tecnología

Figura 40: Costo total de propiedad (TCO) presente y futuro para accionamiento por electricidad y diésel



Fuente: Tractebel, 2016.

madura, se espera que se mantenga estable entre 2016 y 2030.¹¹

Con respecto a los costos de funcionamiento del vehículo, será importante considerar dos aspectos: la evolución de los costos del combustible y la distancia recorrida por el vehículo. Tal como se muestra en la Figura 40, se espera que el precio promedio de la electricidad aumente ligeramente para 2030, mientras que se espera que el precio del diésel aumente más de la mitad. Aunque el impacto de los costos del combustible en el costo total de propiedad de un vehículo dependerá de la distancia que recorra, y por lo tanto de la cantidad de combustible comprada, esta tendencia apunta a que los vehículos serán más competitivos para 2030 que en la actualidad. La comparación del costo total de propiedad que se muestra en la Figura 40 se hizo considerando un conductor promedio (20 000 km por año) (BNEF y McKinsey, 2016).

Por último, según la velocidad y la manera en que los gobiernos elijan reducir su apoyo a los VE, podría haber un periodo durante el cual la mejora económica de los vehículos eléctricos se vea amortiguada por la disminución de las subvenciones. Si bien muchos han observado una mejora continua de la economía de los vehículos eléctricos,

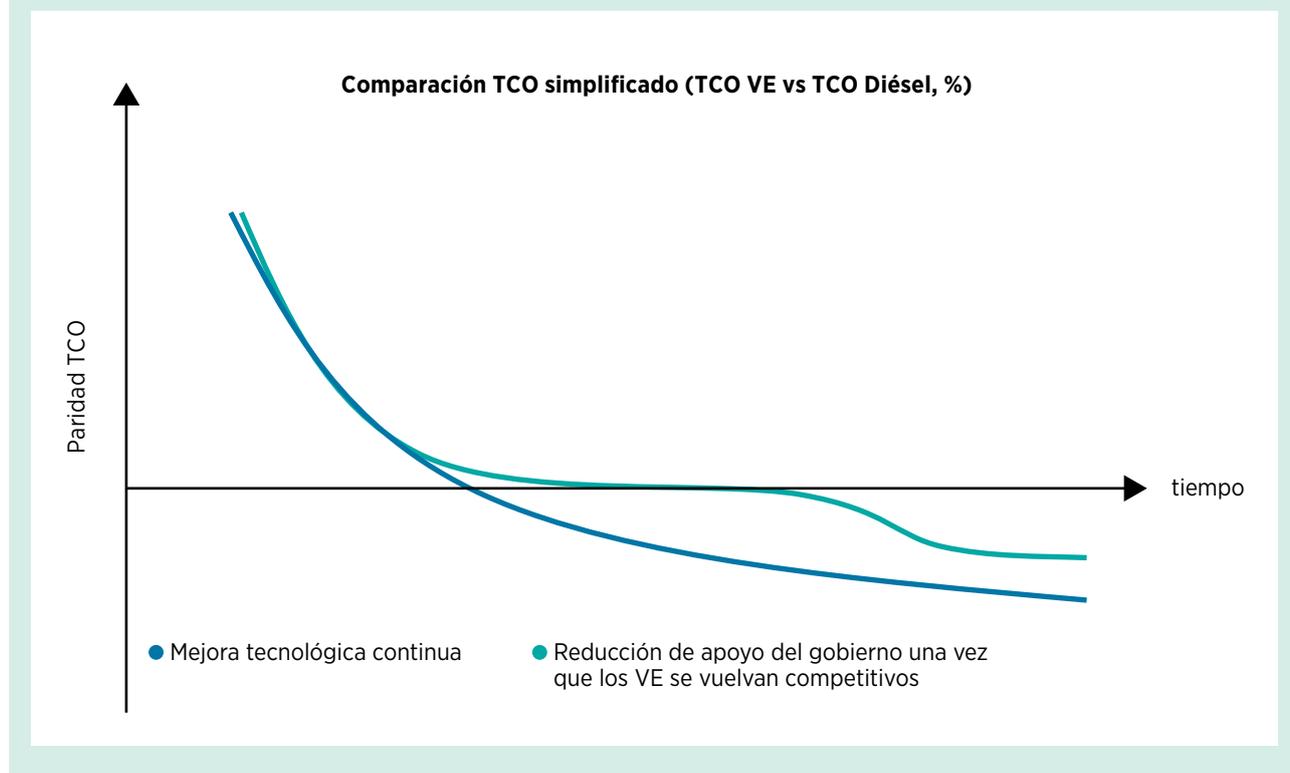
y aunque se prevé que los vehículos eléctricos sean casi competitivos en 2030 (figura 41), las subvenciones y las ventajas financieras cambiarán el panorama. Además, el diésel probablemente enfrentará regulaciones aún más estrictas que lo harán menos atractivo.

Comparado con un escenario sin subsidios, este análisis supone que los VE serán competitivos mucho antes de 2030. Sin embargo, una vez que los VE se vuelvan atractivos, los gobiernos pueden elegir acelerar sus esfuerzos actuales para reducir las reglamentaciones. Así, es posible que haya un periodo de transición durante el cual los VE y los vehículos diésel será exactamente competitivos mientras los gobiernos reducen su respaldo a los VE. A más largo plazo, y una vez que se hayan eliminado todos los respaldos, el costo total de propiedad de los VE podría comenzar a mejorar nuevamente.

Baterías de VE

Una proporción significativa de la producción global de baterías es con fines de movilidad, y esta tendencia podría continuar en los años próximos. La elección de la tecnología de baterías para diferentes aplicaciones

Figura 41: Escenarios para comparación de costo total de propiedad (TCO) simplificado (vehículos eléctricos versus vehículos diésel).



¹¹ Se espera que los CAPEX para vehículos diésel expresados en términos reales sigan estable entre 2016 y 2030.

de movilidad se basa en las consideraciones de precios, el nivel de seguridad y el rendimiento energético y de potencia necesarios. Entre los factores claves para determinar la disponibilidad de los VE se encuentran la capacidad y otras características técnicas de las baterías.

Con el tiempo, la densidad energética de las baterías, es decir, la cantidad de energía almacenada en un determinado sistema o región del espacio por unidad de volumen ha aumentado. Este fenómeno se debe en parte a la optimización del diseño de las celdas y los paquetes (por ejemplo, la optimización de la disipación de la temperatura con el cambio de la forma de la celda), pero el factor principal es la naturaleza del material usado como electrodo en la batería.

En la actualidad, el ion de litio es una tecnología que prevalece, más allá de la composición química subyacente. Resulta adecuada tanto para las aplicaciones de movilidad como para las de la red, y su aspecto económico es cada vez más favorable. Hoy en día se utiliza una variedad limitada de composiciones químicas subyacentes en las baterías de ion de litio. La elección de la tecnología de la batería es un compromiso entre seguridad, costo y desempeño.

Tal como se destaca en la Tabla 22, es principalmente el tipo de electrodo positivo el que mejora drásticamente el rendimiento de la celda en términos de densidad de la energía. Las subtecnologías claves disponibles usadas para el electrodo positivo se basan en LFP (litio ferrofosfato), NMC (níquel manganeso cobalto) y NCA (níquel cobalto aluminio). El NCA, incluso si presenta densidades energéticas (y de potencia) muy altas en comparación con las otras dos, tiene baja seguridad ya que no es estable a altas temperaturas. En la Tabla 23 se muestra una comparación técnica detallada entre las dos composiciones químicas más usadas en movilidad,

LFP y NMC. Mientras que la de LFP es más segura, más barata y tiene una mayor vida útil, la de NMC tiene mayor capacidad y potencia.

En la Tabla 24 se presenta una comparación de las composiciones químicas subyacentes de la batería de ion de litio usadas en modelos de vehículos ligeros representativos.

El mercado de los autobuses eléctricos está dominado por China, con un 75 % de las baterías para estos vehículos producidas localmente. Las composiciones químicas subyacentes de uso más común son LFP. Las baterías NMC se fabrican y utilizan en gran medida en otros lugares (Dodgson, 2016). Las de LFP parecen ser el mejor compromiso entre seguridad, rendimiento y costo. Incluso se debatió la idea de prohibir las NMC en las aplicaciones de movilidad en China por motivos de seguridad (a pesar de que sean menos peligrosas que las NCA) en beneficio de las LFP (Deutsche Bank, 2016). Sin embargo, otras fuentes mencionaban un programa de subsidios para las baterías NMC para VE (Loveday, 2017).

La densidad energética disminuye de la celda al nivel del conjunto. Una celda instalada hoy en un automóvil puede lograr 250 Wh/kg mientras que la densidad energética del conjunto es de solo 140 Wh/kg (FEV, 2017; TBC, 2017). Un automóvil equipado con una batería de este tipo puede recorrer unos 400 km y puede recargarse hasta el 80 % en 30 minutos (con carga rápida que acelera el envejecimiento). La meta para 2020 de proyectos académicos como el proyecto francés Helios (L'Agence nationale de la recherche, 2016) es lograr una densidad energética de las celdas de 300 Wh/kg y una densidad energética del conjunto de baterías de 200 Wh/kg. Este aumento podría llevar a autonomías de alrededor de 550 km.

Tabla 22: Comparación entre los principales componentes químicos de las baterías de ion de litio

	LCO*/ Grafito	LMO**/ Grafito	LFP/ Grafito	NMC/ Grafito	NCA/ Grafito	Óxido positivo/ LTO***
Densidad energética (Wh/kg) a nivel de celda	120-190	105-180	80-160	110-220	80-260	80-100
Densidad energética (Wh/L)	250-640	250-350	220-320	325-400	210-700	< 170

* óxido de litio-cobalto ** óxido de manganeso de litio *** óxido de titanato de litio

Tabla 23: Comparación entre tecnologías de baterías de ion de litio LFP y NMC

Composición química de la batería de ion de litio	LFP	NMC
Tasa C máxima en carga	3C	1-2C
Tasa C nominal en carga	0,5-1C.	0,5C
Vida del ciclo	Hasta 10 000 (100 % DoD, 70-80 % EoL, 25 °C)	Hasta 5000 (80 % DoD, 80 % EoL, 25 °C)
Garantía típica	10 años (100 % DoD, 60 % EoL) Nota: La tasa C no se menciona	10 años (100 % DoD, 60 % EoL) Nota: La tasa C no se menciona
Eficiencia de viaje de ida y vuelta (CC) a nivel de celda	< 90 %	94-99 %
Ventajas	Alta seguridad en comparación con otros sistemas de ion de litio. Mayor vida útil que NMC. Menor costo.	Alta capacidad y potencia en comparación con LFP.
Cuestiones principales	Baja densidad de energía en comparación con NMC. Aumenta el tamaño del sistema para alcanzar una energía comparable con NMC.	Menor seguridad en comparación con LFP. Mayor sensibilidad a temperaturas altas. Menor vida útil que LFP. Mayor costo.

Tabla 24: Comparación de automóviles eléctricos seleccionados por tipo y capacidad de batería, autonomía y tiempo de carga

Proveedor de automóviles	BMW	Chevrolet	Mitsubishi	Nissan	Tesla
Modelo	13	Chevy Volt	i-Miev	LEAF	Model S
Química de la batería	LMO/NMC (22 kWh, 204 kg)	LMO/NMC (16 kWh, 181 kg)	NMC (16 kWh; 147 kg)	LMO (30 kWh, 272 kg)	NCA (90 kWh, 540 kg)
Autonomía (km)	130-160	64	128	250	424
Tiempo de carga	~4 horas a 230 V CA, 30 A; 50 kW Supercargador; 80 % en 30 minutos	10 horas a 115 V CA, 15 A; 4 horas a 230 V CA, 15 A	13 horas a 115 V CA 15 A; 7 horas a 230 V CA 15 A;	8 horas a 230 V CA, 15 A; 4 horas a 230 V CA, 30 A	9 horas con cargador 10 kW; 120 kW Supercargador, 80 % carga en 30 minutos

Basado en Battery University, 2018; ENGIE, 2017

La capacidad de la batería disminuye con el correr del tiempo y los ciclos. En todas las aplicaciones de movilidad, la batería tiene que ser sustituida (llega a su «fin de vida») cuando alcanza el 70 % de la capacidad inicial, momento en el que la disminución puede acelerarse drásticamente. Los fabricantes de automóviles y autobuses han prestado considerable atención al envejecimiento de las baterías para movilidad. Si la batería se somete a ciclos en condiciones más suaves (tasa de carga o descarga/velocidad de carga, temperatura, profundidad de descarga y estado de carga utilizados), durará más que si se le pide que rinda al máximo de su capacidad.

Es necesario contar con un sistema de refrigeración eficaz para mantener una temperatura constante alrededor de la batería, de modo que se pueda alcanzar la máxima vida útil y se obtenga seguridad. La NMC es más sensible a la temperatura en comparación con la LFP, y envejecerá más rápidamente si la temperatura es más alta durante su vida útil. La NMC también es más sensible a la tasa de carga o descarga aplicada (esta composición química subyacente tiene una tasa de carga o descarga nominal menor).

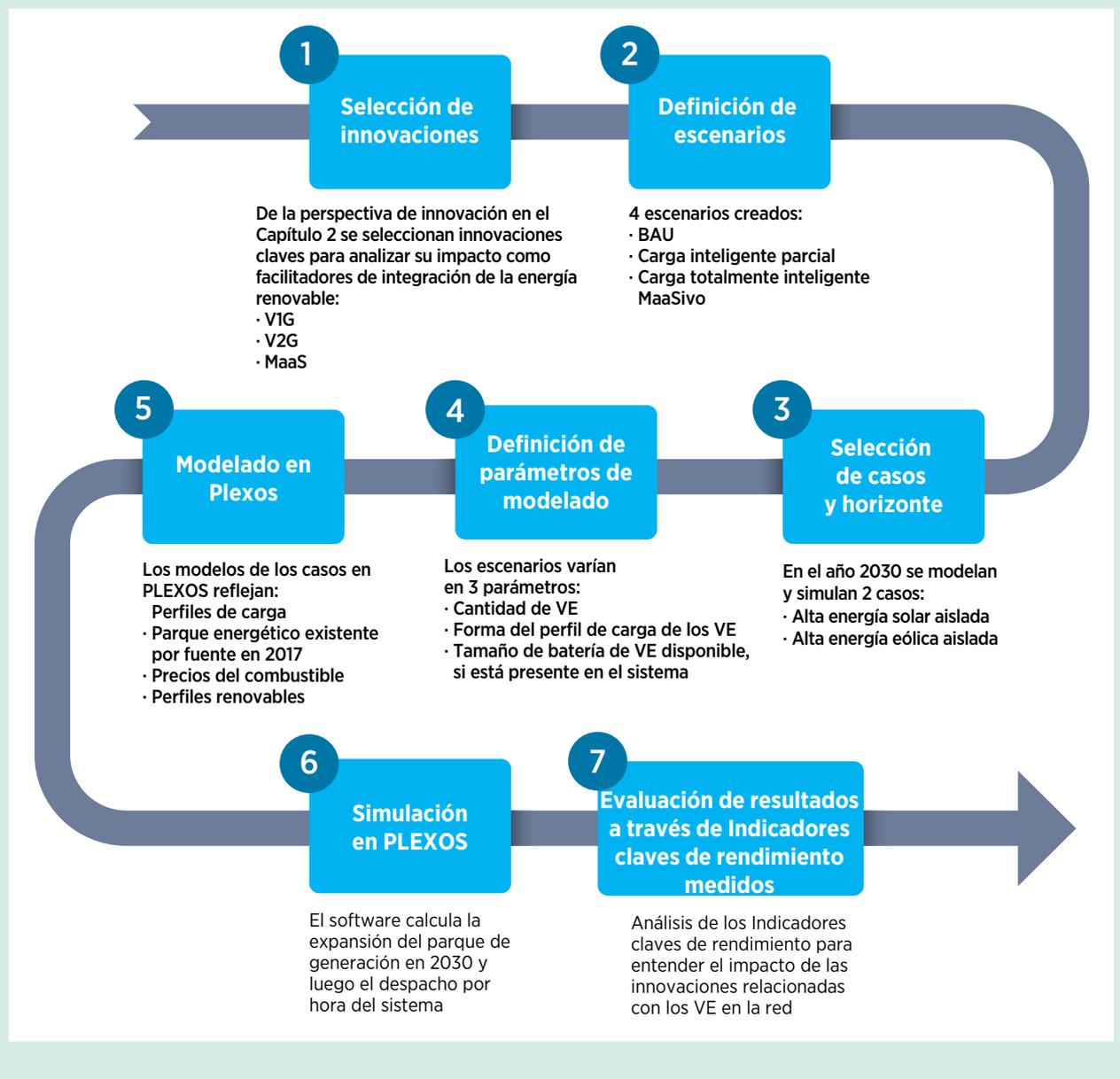
ANEXO 5. Metodología de modelado

Elementos claves de la metodología de modelado

El objetivo de la modelización era analizar el impacto de la integración de los VE en sistemas de energía altamente renovable en una variedad de situaciones que difieren no solo en el nivel de desarrollo en el sector de la energía y el transporte, sino también con respecto a la fuente renovable predominante en la combinación de electricidad. La metodología de modelado se explica en los siete pasos de la Figura 42.

Para el estudio se seleccionaron dos sistemas aislados, uno con una alta participación solar y otro con una alta participación eólica en la generación eléctrica. Estos sistemas se simularon en cuatro escenarios alternativos que contemplan diferentes niveles de innovaciones en el sector eléctrico (carga descontrolada, escenarios V1G y V2G) y en el sector del transporte (llamado escenario MaaSivo). El estudio juega con los tres parámetros de modelado de VE claves para reflejar las implicaciones de la adopción de las innovaciones correspondientes a estos escenarios: número de VE en el sistema, forma de

Figura 42: Metodología de modelado



la carga de VE y tamaño de baterías de VE disponible. En el Recuadro 14 se definen estos escenarios y cómo fueron modelados en detalle.

La herramienta de modelado elegida para este fin fue PLEXO. Este software, disponible en el mercado, permite crear una representación del sistema eléctrico

que refleja los perfiles de carga, la combinación actual de capacidades por fuente (es decir, la capacidad instalada y los parámetros técnicos y económicos), los precios de los combustibles y los perfiles de las energías renovables. Los VE se modelaron con un perfil de carga de VE adicional y como batería de sistema único para representar el total de baterías para VE disponibles

Recuadro 14 MODELADO DE EVS EN PLEXOS

El modelado de los VE en PLEXOS varía según las innovaciones asumidas en los cuatro escenarios. Estas variaciones se reflejan en los tres parámetros de modelado siguientes:

1. Cantidad de VE en el sistema
2. Perfil de carga de VE de necesidad de carga
3. Patrones de movilidad y capacidad de baterías disponible para servicios de flexibilidad

Las innovaciones en el sistema eléctrico – es decir, **V1G y V2G se reflejan en la forma de los perfiles de carga de los VE y en la posible utilización de baterías de VE para brindar servicios de flexibilidad a la red. La adopción de la MaaS afecta la cantidad de VE, los patrones de movilidad y la disponibilidad de baterías de VE.**

En la Tabla 25 se resumen las implicaciones de asumir la innovación en MaaS, y las Figuras 43 y 44 ilustran cómo se utilizarán los VE durante el día para cada uno de los casos.

Tabla 25: Implicaciones de la innovación en la movilidad como servicio

INNOVACIÓN EN MAAS	
NO	SÍ
<p>Las tasas de propiedad de vehículos y el kilometraje anual de los automóviles permanecerán en los valores actuales. Los automóviles estarán estacionados el 90% del tiempo y estarán en modo conducción solo alrededor de una hora por día (Pasaoglu, et al., 2013). Para reflejar esto:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Índice de propiedad de 0,4 automóviles per cápita · Automóviles andan 20 000 km por año · En promedio, 60% de los VE estarán disponibles y conectados a la red <p>Figura 43: VE y uso de la red cuando no hay innovación en movilidad como servicio</p> <p>Figura 44: VE y uso de red en escenario de movilidad como servicio</p>	<p>Habrá un cambio hacia los automóviles compartidos y los vehículos autónomos y una baja de los vehículos privados. Los automóviles se beneficiarán con tasas de uso mayores y por lo tanto se reducirá su tiempo ocioso cuando están disponibles y conectados a la red. Para reflejar esto:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Índice de propiedad de 0,25 automóviles per cápita · Automóviles andan 60 000 km por año · En promedio, 20% de los VE estarán disponibles y conectados a la red <p>Figura 43: VE y uso de la red cuando no hay innovación en movilidad como servicio</p> <p>Figura 44: VE y uso de red en escenario de movilidad como servicio</p>

Tabla 26: Implicaciones de la innovación en carga totalmente inteligente (V2G)

INNOVACIÓN EN V2G	
NO	SÍ
<p>Las baterías de los VE no pueden conectarse a la red para brindar servicios de flexibilidad, es decir, para ser cargados a fin de reducir la electricidad renovable vertida, o para ser descargados y evitar el despacho de unidades marginales más caras y carga de amortiguación de picos.</p>	<p>Parte de las baterías de VE está disponible para brindar servicios a la red. El tamaño de la batería disponible y conectada a red depende de la presencia de MaaS en el sistema. Para reflejar esto:</p> <ul style="list-style-type: none"> · No MaaS: 60 % de la batería está disponible · MaaS: 20 % de la batería está disponible
<p>En la Tabla 27 se presentan otras suposiciones que se usan para modelar la presencia de los VE en el sistema en 2030.</p>	
<p>Tabla 27: Suposiciones relacionadas con VE (CEEME, 2017)</p>	
<p>En 2030</p>	
Penetración de VE en flota de automóviles de pasajeros	50 %
Economía de combustible	0,17 kWh/km
Tamaño de la batería	80 kWh

Fuente: CEEME, 2017.

para servicios de flexibilidad a la red. El software calculó el parque de generación óptimo que minimiza los costos totales del sistema y satisface la demanda en el horizonte de 2030 y el despacho óptimo por tipo de tecnología en función de la resolución horaria. También calculó los indicadores del sistema tal como el costo regional de la electricidad, la energía disponible, la generación y el consumo de combustible.

A continuación, se evaluaron los resultados de las simulaciones con respecto a un conjunto de indicadores claves de rendimiento que permitieron medir la contribución de V1G, V2G y MaaS en la integración de los vehículos eléctricos en los sistemas de energía altamente renovable. El ejercicio de modelado brinda resultados para el año 2030. Esto se complementa con una visión cualitativa de la manera en que podrían evolucionar y ser interpretados los indicadores claves de desempeño en 2050.

Por último, para evaluar simplemente la adopción de las innovaciones en el sistema y su impacto en el resto de los indicadores clave de rendimiento (*por ejemplo*, el vertido de ERV, el costo promedio anual de la electricidad), etc., se simula una sensibilidad que considera la misma combinación de capacidad del caso habitual (BAU) para el sistema con una alta proporción de energía solar. Para este fin, el modelo es

forzado de manera exógena para mantener el parque de generación en 2030 a los mismos niveles que los de la expansión calculada previamente en el escenario BAU.

Casos modelados

Las geografías elegidas están aisladas en el sentido de que no están conectadas a ningún sistema nacional o fronterizo; por lo tanto, necesitan satisfacer su demanda con sus propias fuentes de generación. Además, no se consideran exportaciones a sistemas vecinos, y la totalidad de la electricidad producida dentro de los sistemas se consume en el lugar.

El sistema aislado de alta energía solar refleja una ubicación ecuatorial con una participación de energía solar cercana al 24 % en la generación eléctrica y una de las irradiaciones solares anuales más altas en la zona. Hay un alto potencial de instalación de energía FV en el sistema, tanto en términos de disponibilidad de tierra para plantas FV a gran escala como de energía FV integrada en los techos, fachadas o ventanas de edificios.

Los sistemas aislado de alta energía eólica reflejan una región con un 40 % de participación eólica en el parque de generación eléctrica. La geografía se beneficia de

importantes recursos eólicos, aunque la disponibilidad de la tierra para granjas eólicas podría ser una restricción para las futuras inversiones en capacidad en el sistema.

Además de cumplir con las definiciones anteriores, la selección concreta de las geografías para los dos casos también se basó en la disponibilidad de datos para la modelización del sistema en el horizonte futuro, principalmente: visión a largo plazo de la futura demanda de carga, disponibilidad de perfiles de carga solar y eólica, proyecciones de las especificidades técnicas de las tecnologías (*por ejemplo*, CAPEX, OPEX, eficiencias, etc.) y una buena representación del sistema eléctrico real en términos de activos de generación existentes.

Para ejecutar el modelo y la simulación técnica, se eligió la herramienta PLEXOS. PLEXOS se utiliza para modelar los dos casos descritos y para simularlos en cuatro escenarios diferentes con un determinado horizonte. Los resultados de las simulaciones permitirán evaluar el impacto de las innovaciones relacionadas con los VE que pueden afectar la integración de la energía renovable en la red eléctrica.

Modelado en Plexos

PLEXOS es una herramienta de simulación de sistemas eléctricos que puede construir modelos eléctricos integrados. Utiliza técnicas de programación lineal entera mixta, de optimización y estocásticas para resolver modelos de expansión a largo plazo o de compromiso unitario a corto plazo. Para este análisis, se construyó un modelo de sistema de electricidad de los dos casos. Los modelos representan el estado actual del sistema en términos de parque de generación, demanda, perfiles renovables y combustibles.

Los modelos se simulan primero en un modo de planificación de la expansión de la capacidad y la inversión a largo plazo (largo plazo). Para esto, los modelos toman en cuenta la capacidad existente instalada en los sistemas y calcularán las decisiones de inversión óptimas necesarias para satisfacer la demanda en 2030, y que minimizan el valor actual neto de los costos totales del sistema en el horizonte de planificación (Energy Exemplar, n.d.) - es decir, resolver en simultáneo un problema de expansión de la capacidad de generación y transmisión y un problema

de despacho desde una perspectiva de planificación central a largo plazo. Los modelos pueden elegir entre las siguientes tecnologías: turbina de gas de ciclo combinado, turbina de gas de ciclo abierto, solar FV y eólica. Estas tecnologías se modelan según los parámetros económicos y técnicos de 2030.

Una vez que se conozca el parque de generación requerido para satisfacer la demanda en 2030, se simularán los modelos bajo un modo de compromiso de unidades y despacho económico (corto plazo). Esta fase es cronológica, por hora, y permitirá un mejor análisis de los VE en el sistema.

En la Tabla 28 se resume la lista de datos clave usados para el modelado y sus fuentes.

Además, la presencia y la integración de los VE en el sistema se modela en PLEXOS con dos elementos.

1. Carga de VE (MWh): en forma de perfil, para representar la demanda extra de electricidad que agregarán los VE al sistema cuando se conecten a la red para cargar. El perfil de carga será influenciado por la presencia de tecnologías de carga inteligente en el sistema, por tendencias de movilidad futuras y por la cantidad de VE en la vía pública.
2. Batería de VE (MW + MWh): representar los servicios de flexibilidad que pueden entregar los VE a la red cuando se descargan o cargan. Esto se modela como un batería de sistema único con un tamaño de todas las capacidades de la batería de VE que estarán disponibles para servicios en la red en el futuro

La carga de VE se agrega a la carga del sistema y se integra en el equilibrio entre demanda y oferta resuelto por PLEXOS. Además, el modelo elige cómo despachar las baterías de los VE de manera óptima. La manera en que el modelo utilice las baterías de los VE para equilibrar el sistema afectará la repercusión que tendrán los VE en la red y además se observará en los indicadores claves de desempeño.

Una vez finalizada la simulación, PLEXOS ofrece las decisiones de inversión en capacidad óptimas necesarias para equilibrar la carga futura de 2030. Al mismo tiempo, PLEXOS ofrece también el despacho de diferentes tecnologías. En estas circunstancias, los resultados principales provistos para 2030 son:

- Capacidad instalada por fuente (MW)
- Generación por fuente (MWh)
- Energía disponible por fuente (MWh)
- Consumo de combustible por fuente (Tera joule, TJ)
- Costo marginal por hora de la electricidad (EUR/MWh)
- Despacho por hora
- Emisiones (toneladas/CO₂).

En la Tabla 29 se muestra el parque de generación resultante para el escenario BAU después de la expansión del sistema, tanto para el sistema solar aislado como para el eólico aislado.

Tabla 28: Lista de datos de entrada y fuentes requeridas para el modelado

Infraestructura del sistema en 2017	
Capacidad de generación (MW) por fuente	CEEME, 2017
Perfil de carga (MW) y anual	CEEME, 2017
Costos de combustible (EUR/GJ)	CEEME, 2017
Perfiles de carga de energía eólica y solar	CEEME, 2017
Visión en 2040	
CAPEX y OPEX en tecnología para futuras inversiones	CEEME, 2017
Perfil de carga (MW) y anual	CEEME, 2017
Costos de combustible (EUR/GJ)	CEEME, 2017
Perfiles de carga de energía eólica y solar	CEEME, 2017

Tabla 29: Capacidades de generación instaladas en escenarios BAU a largo plazo para ambos sistemas

Caso solar 2030 BAU		Caso eólico 2030 BAU	
Categoría	Capacidad instalada (MW)	Categoría	Capacidad instalada (MW)
Nueva CCGT	604	Nueva CCGT	500
Nueva solar	336,8	Nueva CCGT	1000
Nueva eólica	31,6	Nueva solar	300
OCGT	238	Nueva eólica	1800
Solar	109	CCGT	1261,4
Eólica	0,6	OCGT	31,5
Geotérmica	5	Solar	680
Combustión interna	606	Eólica	297,5
Biomasa	60,7	CI	4,26
Solar distribuida	42	Biomasa	64,1
		Solar distribuida	329
		Combinación de calor y energía	21,09

Ejemplos de otros estudios: impacto de la carga inteligente

Tabla 30: Ejemplos de estudios que evalúan el impacto de las estrategias de carga de VE

INFORME	SISTEMA ELÉCTRICO ESTUDIADO	ESCENARIO	CUESTIONES PRINCIPALES E INDICADORES CLAVE	HALLAZGOS
RMI, 2016	5 estados de EE. UU. seleccionados: California, Hawái, Minnesota, Nueva York, Texas	23 % de penetración de VE en la flota en 2030, i) modo de carga descontrolada, ii) modo de carga optimizado.	Aumento de la carga pico con alta penetración de VE, que aumentará la capacidad de generación y distribución de la red.	En los dos escenarios hay una gran diferencia en la carga pico. Por ejemplo, en California: i) todos los VE en modo de carga descontrolada aumentarían la carga pico en un 11,14%, ii) con la carga inteligente, esto aumentaría la carga pico tan solo en un 1,33%. La carga inteligente puede ayudar a optimizar los recursos de la red y evitar la inversión en nueva capacidad de generación pico.
Taljegard, 2017	Dinamarca, Alemania, Noruega, Suecia	100 % de penetración de VE en 2050, i) incluidos los sistemas de carreteras eléctricas (ERS); ii) incluidos ERS y V2G.	La carga de VE se correlaciona con la carga pico del sistema eléctricos y por lo tanto aumenta la necesidad de contar con capacidad de potencia pico y hay un aumento de las emisiones de CO ₂ .	i) Si no se aplica V2G, los ERS aumentarían el máximo de la curva de carga neta en un 20 % en Escandinavia y Alemania (de 127 GW a 152 GW); ii) Si se aplicara V2G, los VE de pasajeros aplanarían la curva de carga neta en el sistema eléctrico escandinavo y alemán de manera que la hora con la carga neta máxima se reducirían un 7 % (de 127 GW a 118 GW).
McKenzie, K. et al., 2016.	Isla de Oahu Hawái, EE. UU.	Más de 130 000 VE en Oahu para 2045 y 260 000 con el precio de petróleo alto de la Administración de información energética de los EE. UU., 23 % de electricidad producida a partir de energías renovables, muy alta penetración de energía solar y eólica siguiendo las Normas de la cartera de energías renovables.	Considerando el parque de recursos renovables de la isla, sería necesario el vertido de ERV de un 10 a un 23 % de energía solar y eólica combinadas.	Con la carga inteligente (<i>es decir</i> , si la carga eléctrica de VE siguiera perfectamente los perfiles solar y eólico), entonces se reduciría hasta un 18-45 % el vertido de energía renovable, según los comportamientos de carga y el tipo de carga inteligente.
Chen y Wu, 2018	Región de Guanzhou, China	Caso basado en curva de carga de verano diaria típica real en Guangzhou con 1 millón de VE.	La carga de VE se correlaciona con la carga pico del sistema eléctricos y por lo tanto aumenta la necesidad de contar con capacidad de potencia pico.	Un millón de VE aumentará la carga pico de la red en un 15 % sin ningún control de carga. Sin embargo, la fluctuación se reducirá en un 43 % sin tecnología V2G, mientras que puede ser reducida en un 50 % si hay V2G disponible.



 www.irena.org www.facebook.com/irena.org www.twitter.com/irena www.instagram.com/irenaimages **IRENA**
International Renewable Energy Agency

Copyright © IRENA 2019