



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial

Análisis de riesgos y beneficios en la utilización de la tecnología V2G en generación distribuida

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA DE LAS TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Autor: Adrián Gallardo Martínez
Director: Francisco de Asís Ruz Vila

Cartagena, mayo 2020

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN DEL PROYECTO.....	12
PARTE 1 | INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA DE VEHÍCULO A RED (V2G)	15
1. LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS	15
1.1 Tipos de vehículos eléctricos.....	15
1.2 Principales modelos y características de los VE.....	15
1.3 Tecnología de las baterías.....	16
1.4 Perspectiva de los vehículos eléctricos en el mercado mundial.....	18
2. SMART GRIDS	19
2.1 Concepto red inteligente o Smart Grid	19
2.2 Principales características	19
2.3 Operadores de sistemas de transmisión (TSO), operadores de sistemas de distribución (DSO) y agregador	20
3. CONCEPTO V2X	21
3.1 Principales características de V2H.....	21
3.2 Principales características de V2V.....	23
3.3 Principales características de V2G.....	23
4. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA ‘VEHÍCULO A RED’ (V2G).....	24
4.1 Cómo funciona V2G.....	24
4.2 Estándares de comunicación V2G	25
4.3 Electrónica de potencia de V2G	26
4.4 Sistema de carga de las baterías de los VEs.....	27
PARTE 2 | INTEGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA V2G	29
5 INTEGRACIÓN V2G	29
6 POTENCIAL DE INTEGRACIÓN DE V2G.....	29
6.1 V2G y la carga controlada	29
6.2 V2G y las energías renovables.....	30
6.3 V2G y los servicios auxiliares de red (servicios TS).....	31
6.4 V2G y los servicios de respaldo de suministro (servicios DS)	34
6.5 Vehículo a casa (V2H).....	39
6.6 Ahorros económicos	42
7 IMPACTO DE INTEGRACIÓN DE V2G.....	46
7.1 V2G y la degradación de la batería.....	46
PARTE 3 | ANÁLISIS DE RIESGOS DE V2G	53
8 INTRODUCCIÓN A LA EVALUACIÓN DE RIESGOS	53
9 MÉTODO ANALÍTICO JERÁRQUICO DIFUSO (FAHP) (METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE RIESGOS).....	53
10 MODELO PROPUESTO PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS.....	54

11 CASO DE ESTUDIO: EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS DE LA INTEGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA V2G	63
11.1 Identificar las fuentes de riesgo y construir una estructura jerárquica de riesgos.	63
11.2 Definición de los parámetros RI y RP y agregación difusa	68
11.3 Medida del parámetro RD mediante comparaciones por pares de los factores de riesgo de cada grupo.....	70
11.4 Cálculo del valor de RD local (RD*).....	74
11.5 Agregar RD* en la jerarquía	77
11.6 Inferencia difusa. Cálculo de ORF.....	78
11.7 Resultados y conclusiones	80
12 CASO DE ESTUDIO: EVALUACIÓN DE LOS BENEFICIOS DE LA INTEGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA V2G	81
12.1 Identificar las fuentes de beneficios y construir una estructura jerárquica de beneficios.....	81
12.2 Definición de los parámetros RI y RP y agregación difusa	85
12.3 Medida del parámetro RD mediante comparaciones por pares de los factores de riesgo de cada grupo.....	86
12.4 Cálculo del valor de RD local (RD*).....	90
12.5 Agregar RD* en la jerarquía	90
12.6 Inferencia difusa. Cálculo de ORF.....	91
12.7 Resultados y conclusiones	93
CONCLUSIONES	95
BIBLIOGRAFÍA.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Coches eléctricos desplegados por región, 2013-2018. Fuente: IEA 2019[3]	18
Figura 2 Aplicaciones del V2X. Fuente:[8]	21
Figura 3 Sistema de energía independiente con vehículo a casa V2H (HEMS: Home Energy Management System, EDMS:Energy Data Management System). Fuente: [9]	22
Figura 4 Diagrama de funcionamiento de V2G. Fuente: [12].....	24
Figura 5 Estándares de comunicación en la carga de vehículos eléctricos con tecnología V2G. Fuente: [8]	25
Figura 6 Diagrama general de flujo de energía para tecnología V2G y V2H. Fuente: [11]	26
Figura 7 Evolución de frecuencia a distintas configuraciones de carga. (a) Sin EV. (b) EV con velocidad de carga fija. (c) EV con $f=49,5$ Hz. (d) EV con $f=49.9$ Hz. Fuente: [18]	32
Figura 8 Reservas de rotación con escenario mejorado (verde) y con escenario convencional (rojo) en el caso de un 10% de penetración de EV. Fuente: [19].....	33
Figura 9 Costo de carga para usuarios con un escenario convencional (azul) y con un escenario mejorado (naranja). Fuente:[19]	34
Figura 10 Perfil de carga generado en vivienda con baja carga domestica para 3 modos diferentes de carga: (Dem) Carga por demanda, (OP) Carga fuera del pico y (OPV2G) Carga fuera del pico más V2H. Fuente: [22].....	37
Figura 11 Perfil de carga generado en vivienda con baja carga domestica para 3 modos diferentes de carga: (Dem) Carga por demanda, (OP) Carga fuera del pico y (OPV2G) Carga fuera del pico más V2H. Fuente: [22].....	38
Figura 12 Curva de influencia en la carga de la red eléctrica para PV (arriba) y PV más sistemas de almacenamiento (abajo). Fuente: [23].....	40
Figura 13 Superposición de las curvas de carga para vehículos eléctricos para días laborales (arriba) y vacaciones (abajo). Fuente: [23]	40
Figura 14 Curva efectos resultantes en la red eléctrica. Fuente: [23].....	41
Figura 15 Curva de efectos en la carga de la red eléctrica para días laborales sin estrategia de carga (azul) y con estrategia de carga (naranja). Fuente:[23]	41
Figura 16 Fases del modelo de evaluación difusa. Fuente: [27].....	54
Figura 17 Estructura jerárquica de riesgos genérica. Fuente: [27].....	55
Figura 18 Estructura jerárquica de riesgos. Fuente: Elaboración propia.	64
Figura 19 Definición de la función ‘quadprog’ en Matlab para minimizar la función del caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.	75
Figura 20 Definición de la función ‘quadprog’ en Matlab para minimizar la función del caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.	76
Figura 21 Definición de la función ‘quadprog’ en Matlab para minimizar la función del caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.	77

Figura 22 Estructura jerárquica de beneficios. Fuente: Elaboración propia.82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Top 20 modelos de PEV más vendidos en el mercado en la primera mitad de 2018. Fuente:[1]	16
Tabla 2 Características de las baterías de los EVs. Fuente: [2]	16
Tabla 3 Fiabilidad de las baterías de los EVs. Fuente: [2]	17
Tabla 4 Tipo de tecnología de las baterías en los EVs. Fuente: [2]	17
Tabla 5 Topologías de carga para VE enchufables. Fuente:[11]	27
Tabla 6 Características de los diferentes modos de interacción de los EV con la red. Fuente: [16]	30
Tabla 7 Sistema de parámetros para el estudio del caso base. Fuente: [19]	33
Tabla 8 Resumen beneficios anuales individuales para el propietario del vehículo utilizando V2G para distintos servicios. Fuente: [13]	43
Tabla 9 Degradación de la batería para el caso base de estudio con y sin la participación de V2G. Fuente: [26]	47
Tabla 10 Degradación de la batería para el análisis de sensibilidad con la capacidad de la batería para los PHEV con y sin la participación de V2G. Fuente: [26]	48
Tabla 11 Degradación de la batería para el análisis de sensibilidad con la capacidad de la batería para los EV con y sin la participación de V2G. Fuente: [26]	48
Tabla 12 Degradación de la batería para el análisis de sensibilidad según el régimen de carga para PHEV y EV con y sin la participación de V2G. Fuente:[26]	49
Tabla 13 Degradación de la batería para el análisis de sensibilidad del efecto del DOD en los PHEV para garantizar un servicio auxiliar de reserva rápida firme. Fuente:[26]	50
Tabla 14 Degradación de la batería para el análisis de sensibilidad del efecto del DOD en los EV para garantizar un servicio auxiliar de reserva rápida firme. Fuente:[26]	50
Tabla 15 Términos lingüísticos asociados a los parámetros. Fuente: [27]	56
Tabla 16 Descripciones de las comparaciones de RI, RP y RD y sus números difusos trapezoidales correspondientes. Fuente: [27]	57
Tabla 17 Descripción de los riesgos legales de la integración de la tecnología V2G. Fuente: Elaboración propia.	65
Tabla 18 Descripción de los riesgos técnicos de la integración de la tecnología V2G. Fuente: Elaboración propia.	67
Tabla 19 Descripción de los riesgos sociales de la integración de la tecnología V2G. Fuente: Elaboración propia.	67
Tabla 20 Descripción de los riesgos económicos de la integración de la tecnología V2G. Fuente: Elaboración propia.	68
Tabla 21 Valoración lingüística de los parámetros RI y RP de los riesgos asociados al grupo de riesgos legales. Fuente: Elaboración propia	68
Tabla 22 Valoración lingüística de los parámetros RI y RP de los riesgos asociados al grupo de riesgos técnicos. Fuente: Elaboración propia	69

Análisis de riesgos y beneficios en la utilización de la tecnología V2G en generación distribuida

Tabla 23 Valoración lingüística de los parámetros RI y RP de los riesgos asociados al grupo de riesgos sociales. Fuente: Elaboración propia.....	69
Tabla 24 Valoración lingüística de los parámetros RI y RP de los riesgos asociados al grupo de riesgos económicos. Fuente: Elaboración propia.....	69
Tabla 25 Medida de RD por comparación por pares de los grupos de riesgos de la integración de la tecnología V2G. Fuente: Elaboración propia.....	70
Tabla 26 Medida de RD por comparación por pares de los riesgos asociados al grupo de riesgos	71
Tabla 27 Medida de RD por comparación por pares de los subgrupos de riesgos técnicos. Fuente: Elaboración propia	71
Tabla 28 Medida de RD por comparación por pares de los riesgos asociados al grupo de riesgos técnicos y subgrupo de baja fiabilidad. Fuente: Elaboración propia.....	72
Tabla 29 Medida de RD por comparación por pares de los riesgos asociados al grupo de riesgos técnicos y subgrupo de incumplimiento de las especificaciones. Fuente: Elaboración propia.....	72
Tabla 30 Medida de RD por comparación por pares de los riesgos asociados al grupo de riesgos técnicos y subgrupo de bajo rendimiento. Fuente: Elaboración propia	72
Tabla 31 Medida de RD por comparación por pares de los riesgos asociados al grupo de riesgos sociales. Fuente: Elaboración propia	73
Tabla 32 Medida de RD por comparación por pares de los riesgos asociados al grupo de riesgos económicos. Fuente: Elaboración propia.....	73
Tabla 33 Valores de RD*, RD para cada riesgo de la estructura jerárquica. Fuente: Elaboración propia. .	78
Tabla 34 Valores de RI, RP, RD, ORF y ranking para cada riesgo de la estructura jerárquica. Fuente: Elaboración propia.	79
Tabla 35 Descripción de los beneficios económicos de la integración de la tecnología V2G. Fuente: Elaboración propia.	83
Tabla 36 Descripción de los beneficios sociales de la integración de la tecnología V2G. Fuente: Elaboración propia.	83
Tabla 37 Descripción de los beneficios técnicos de la integración de la tecnología V2G. Fuente: Elaboración propia.	84
Tabla 38 Valoración lingüística de los parámetros RI y RP de los beneficios asociados al grupo de beneficios económicos. Fuente: Elaboración propia.	85
Tabla 39 Valoración lingüística de los parámetros RI y RP de los beneficios asociados al grupo de beneficios sociales. Fuente: Elaboración propia.	85
Tabla 40 Valoración lingüística de los parámetros RI y RP de los beneficios asociados al grupo de beneficios técnicos. Fuente: Elaboración propia.	86
Tabla 41 Medida de RD por comparación por pares de los grupos de beneficios de la integración de la tecnología V2G. Fuente: Elaboración propia.....	87
Tabla 42 Medida de RD por comparación por pares de los beneficios asociados al grupo de beneficios económicos. Fuente: Elaboración propia.....	87

Análisis de riesgos y beneficios en la utilización de la tecnología V2G en generación distribuida

Tabla 43 . Medida de RD por comparación por pares de los beneficios del grupo de beneficios sociales. Fuente: Elaboración propia	88
Tabla 44 Medida de RD por comparación por pares de los subgrupos de beneficios técnicos. Fuente: Elaboración propia	88
Tabla 45 Medida de RD por comparación por pares de los beneficios asociados al subgrupo mejora la estabilidad de la red del grupo de beneficios técnicos. Fuente: Elaboración propia.....	89
Tabla 46 Medida de RD por comparación por pares de los beneficios asociados al subgrupo mejora la integración de Vehicle to Home (V2H) del grupo de beneficios técnicos. Fuente: Elaboración propia.....	89
Tabla 47 Medida de RD por comparación por pares de los beneficios asociados al subgrupo mejora la integración de Vehicle to Everything (V2X) del grupo de beneficios técnicos. Fuente: Elaboración propia	90
Tabla 48 Valores de RD*, RD para cada beneficio de la estructura jerárquica. Fuente: Elaboración propia.	91
Tabla 49 Valores de RD*, RD, ORF y ORFT para cada beneficio de la estructura jerárquica. Fuente: Elaboración propia.	92

RESUMEN

La creciente preocupación por el medio ambiente y las consecuencias de un cambio climático provocado por causas antropogénicas que cada vez se hacen más evidentes, han puesto, en el centro de atención, a las tecnologías que puedan provocar un cambio de paradigma en el sector energético. Entre ellas, se encuentra la tecnología de vehículo a red (V2G), que se presenta como una revolución que pretende cambiar la forma en que vemos a los vehículos eléctricos, para darles un papel más activo con la participación de estos como nuevas fuentes de suministro y almacenamiento de energía. En el presente trabajo se obtiene un ranking ponderado de los riesgos y beneficios que supondría la plena integración de V2G en los sistemas de generación distribuida. Esta clasificación de los riesgos y beneficios se logra mediante la aplicación de una metodología de evaluación de riesgos basada en el método analítico jerárquico difuso (FAHP). Esta metodología se basa en la aplicación de la Teoría de conjuntos difusos, para representar de forma matemática las imprecisiones del lenguaje, y en un Proceso analítico jerárquico (AHP), para estructurar jerárquicamente los riesgos y beneficios de la integración de V2G. En este modelo propuesto, se realiza una valoración personal de cada uno de los riesgos y beneficios con valoraciones lingüísticas en términos del impacto del riesgo (RI), probabilidad del riesgo (RP) y discriminación del riesgo (RD). Estos términos lingüísticos tienen asociado un número difuso trapezoidal. Se usa un algoritmo para hacer frente a las inconsistencias de las comparaciones difusas. A continuación, se calcula el peso que representa individualmente cada riesgo y beneficio dentro de la estructura y se obtiene el factor de riesgo global (ORF). Finalmente, ordenando el valor del ORF tenemos un ranking ponderado en importancia de los riesgos y beneficios de la utilización de V2G.

ABSTRACT

The increasing concern about environment and the consequences of climate change caused by anthropogenic causes they are becoming increasingly evident. That's why technologies that may cause a paradigm change in the energy sector are now in the spotlight. Among them is vehicle-to-network (V2G) technology, which is presented as a revolution whose aims to change the way we see electric vehicles, to give them a more active role with the participation as a new source of supply and energy storage as well. In this paper, a weighted ranking of the risks and benefits the full integration of V2G in the distributed generation systems would entail is obtained. This classification of risks and benefits is achieved through the application of a risk assessment methodology based on the fuzzy hierarchical analytical method (FAHP). This methodology is based on the application of Fuzzy Set Theory, to mathematically represent the inaccuracies of the language, and on a Hierarchical Analytical Process (AHP), to hierarchically structure the risks and benefits of V2G integration. In this proposed model, a personal assessment of each of the risks and benefits is carried out with linguistic assessments in terms of risk impact (RI), risk probability (RP) and risk discrimination (RD). These linguistic terms have a trapezoidal fuzzy number associated with them. An algorithm is used to deal with the inconsistencies of fuzzy comparisons. Next, calculate the weight that each risk and benefit represent individually within the structure and obtain the global risk factor (ORF). Finally, ordering the ORF value, we have an importance-weighted ranking of the risks and benefits of using V2G.

INTRODUCCIÓN DEL PROYECTO

La motivación que hizo que escogiera este tema de la tecnología V2G, fue el interés que tenía por investigar sobre la transición energética, ya que, con los problemas actuales con el medio ambiente y el cambio climático, la preocupación por el agotamiento de las energías fósiles y la tendencia exponencial en el consumo de energía, han creado la necesidad imperiosa de buscar una alternativa ecológica y sostenible que haga frente a estas preocupaciones. Una de las propuestas para conseguirlo, y que se considera muy prometedora, es la apuesta por la movilidad eléctrica. Los vehículos eléctricos están cada vez más presentes, pero todavía no han acabado de asentarse ni en el mercado ni entre las elecciones de los conductores. Y es justo aquí, donde puede jugar un papel decisivo la tecnología V2G dando motivos de peso para impulsar el cambio al vehículo eléctrico. V2G se presentaba como una tecnología que daba la posibilidad de utilizar la propia batería de nuestro vehículo a modo de sistema de generación distribuida, devolviendo los excedentes a la red y siendo recompensados por ello. Por estos motivos, quería analizar todas ventajas e inconvenientes que pudiese suponer la utilización de la tecnología V2G como generación distribuida para concluir si es tan atractiva como aparenta.

La finalidad de este trabajo es evaluar los riesgos y beneficios derivados de la integración de la tecnología V2G como generación distribuida para confeccionar un ranking ponderado que muestre la importancia relativa de cada uno de esos riesgos y beneficios

Los objetivos específicos del trabajo son: conocer el funcionamiento de la tecnología V2G y estudiar los componentes implicados en su integración como son los vehículos eléctricos, las smart grids o los estándares de conexión; analizar la situación actual de los factores implicados en la integración de la tecnología V2G como son los factores legales, técnicos, sociales y económicos y estudiar la metodología de evaluación de riesgos para obtener un ranking ponderado de riesgos y beneficios.

El método de investigación utilizado en el trabajo es un método analítico-deductivo donde se identifican cada uno de los factores implicados en la integración de la tecnología V2G y se realiza una extensa revisión bibliográfica de las recientes publicaciones que describen los beneficios potenciales e impactos derivados de la integración de V2G. En base a la información de estas investigaciones se realiza una evaluación de riesgos y beneficios de la tecnología V2G mediante el método de decisión multicriterio análisis jerárquico difuso (FAHP), mediante el que se evalúan los riesgos y se obtiene el ranking ponderado.

Este trabajo se estructura en 3 bloques o partes. El trabajo comienza con una primera parte sobre la introducción a la tecnología de vehículo a red (V2G) cuyo objetivo es introducir al interesado acerca de todos los componentes principales que intervienen en la tecnología V2G y explicar cómo funciona esta tecnología. Se habla sobre los el estado actual de los vehículos eléctricos: las clases de vehículos, los modelos más relevantes y sus principales características; como factor que juega un papel primordial en V2G, se mencionan el tipo de baterías que montan estos modelos; y también se comenta la tendencia de estos vehículos eléctricos en el mercado mundial. Se hace también una introducción al concepto de las redes inteligentes, o smart grids, comentando sus principales características y conociendo los diferentes agentes implicados en el funcionamiento de estas. Se exponen las principales características de las tecnologías relacionadas con la interacción con los vehículos eléctricos: vehículo a casa (V2H), vehículo a vehículo (V2V) y vehículo a red (V2G). Por último, en esta parte, se indaga en el concepto de vehículo a red (V2G), de que componentes se compone y cómo funcionan.

En la segunda parte del trabajo trata sobre la integración de la tecnología V2G. El objetivo que persigue esta parte es comentar el potencial y el impacto que podría tener una implementación masiva del V2G. Para ello, se analizan y comentan los estudios y conclusiones más relevantes que se han hecho hasta ahora en diferentes artículos e investigaciones. En cuanto al potencial de

integración de V2G se comentan las diferentes clases de beneficios que se podrían obtener y cómo la implementación ayudaría a las energías renovables, al sistema eléctrico, al hogar, etc. En cuanto a los impactos de integración de V2G, se habla sobre la degradación de las baterías.

La tercera parte del trabajo es el análisis de riesgos y beneficios de V2G. Después de analizar los potenciales e impactos de V2G, el objetivo de esta última parte del trabajo es aplicar un modelo propuesto con base en la metodología del análisis jerárquico difuso (FAHP) para obtener un ranking ponderado de los riesgos y beneficios de la utilización de la tecnología V2G en generación distribuida. Para esto, en esta parte se habla de la evaluación de riesgos y el método analítico jerárquico difuso y se explica el modelo propuesto para realizar la evaluación de los riesgos y beneficios. Finalmente, se desarrolla el modelo para el caso de estudio, la utilización de V2G, para evaluar los riesgos y beneficios y obtener un ranking ponderado.

PARTE 1 | INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA DE VEHÍCULO A RED (V2G)

1. LOS VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

1.1 Tipos de vehículos eléctricos

Los vehículos eléctricos son un elemento clave en el desarrollo y transición energética de los modelos energéticos actuales. La idea detrás de los vehículos eléctricos es reemplazar a los vehículos de combustión interna (ICE) por un motor eléctrico y una batería, en lugar del depósito de combustible.

Entre los vehículos eléctricos encontramos varios tipos:

- los vehículos eléctricos de baterías (BEV, por sus siglas en inglés).
- los vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV).
- Los vehículos eléctricos híbridos no enchufables (HEV).
- los vehículos eléctricos de rango extendido (REX).
- los vehículos eléctricos de celdas de combustible. (FCV).

El mayor potencial para la integración de los vehículos eléctricos en la red de energía eléctrica radica en los BEV, PHEV y FCV. Estos se consideran la forma más efectiva para reducir la dependencia con los combustibles fósiles y, con ello, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Con el uso de la tecnología V2G, los vehículos eléctricos son capaces de coger electricidad de la red y devolverla.

1.2 Principales modelos y características de los VE

En el mercado de los vehículos eléctricos e híbridos cada año el número de fabricantes de este tipo de automóviles crece más y con lo que la variedad de modelos que disponemos en los últimos años es más amplia. Si observamos el mercado global se puede ver que hay 13 modelos de BEV que representan el 65% de los 20 modelos [1]. En la Tabla 1 se muestra un resumen de las características de los 20 vehículos eléctricos más vendidos en el mercado en 2018 en todo el mundo.

Ranking	Marca	País Fabricante	Modelo	Capacidad (kWh)	Rango eléctrico (km)	Clasificación
1	Nissan	Japón	Leaf	40.0	27.0	BEV
2	BAIC	China	EC series	20.3	156.0	BEV
3	Tesla	América	Model 3	80.0	345.0	BEV
4	Toyota	Japón	Prius Prime	8.8	35.0	PHEV
5	BYD	China	Qin	23.0	100.0	PHEV
6	Tesla	América	Model S	85.0	550.0	BEV
7	Tesla	América	Model X	100.0	552.0	BEV

8	BYD	China	Song	16.9	80.0	PHEV
9	Renault	Francia	Zoe	22.0	240.0	BEV
10	JAC	China	iEV E/S	29.2	255.0	BEV
11	Mitsubishi	Japón	Outlander	12.0	52.0	PHEV
12	BYD	China	e5	43.0	305.0	BEV
13	BMW	Alemania	i3	33.0	183.0	BEV
14	Roewe	China	i6	8.0	60.0	PHEV
15	JMC	China	E200	29.2	252.0	BEV
16	Chevrolet	América	Volt	60.0	383.0	BEV
17	Roewe	China	eRX5	12.0	60.0	PHEV
18	Zhidou	China	D2 EV	18.0	155.0	BEV
19	BMW	Alemania	530e	9.2	45.0	PHEV
20	BAIC	China	EX series	48.0	318.0	BEV

Tabla 1 Top 20 modelos de PEV más vendidos en el mercado en la primera mitad de 2018.
Fuente:[1]

1.3 Tecnología de las baterías.

La batería es el componente clave en los vehículos eléctricos y tienen un impacto significativo para los sistemas V2X que veremos más adelante. Se encarga de entregar la electricidad almacenada en esta al vehículo. También, es el componente de intercambio de energía entre el vehículo eléctrico y la red eléctrica.

Las principales tecnologías de baterías son: el plomo ácido (Pb-ácido), el níquel-hidruro metálico (Ni-MH) y el ion litio (Li-ion) [2]. Las baterías tipo plomo-ácido, usadas en su mayoría en los coches de combustión, poseen una menor densidad de energía, menor vida útil y, además, tienen el problema del efecto memoria al cargarse; que son factores muy importantes en la funcionalidad y rentabilidad de este tipo de vehículos. Por lo que, este tipo de baterías se desaconseja completamente para los vehículos eléctricos. En cambio, las baterías tipo Ni-MH e ion litio son las que se están obteniendo mejores resultados.

Las baterías de ion litio tienen una alta densidad de energía y potencia específicas y una larga vida útil, lo que hace que el costo de este tipo de baterías y los coches eléctricos que la integran tengan un costo inicial muy alto. Por otro lado, las baterías Ni-MH presentan propiedades intermedias entre el plomo-ácido y el ion litio, lo que podrían suponer una solución para conseguir vehículos eléctricos económicos y competitivos. Además de mejorar la rentabilidad para la integración de los sistemas V2X.

Algunas de las características de estos 3 tipos de baterías se muestran en la Tabla 2.

Tipo	Pb-ácido	Ni-MH	Ion Litio
Energía específica (Wh/kg)	30-45	60-120	90-160
Potencia específica (W/kg)	200-300	150-400	250-450
Ciclos de vida	400-600	600-1200	1200-2000

Tabla 2 Características de las baterías de los EVs. Fuente: [2]

En la Tabla 3 se compara la fiabilidad de la celda y la batería de un vehículo eléctrico típico, con una configuración de las baterías en serie para alcanzar el nivel de voltaje de 312 V [2].

Tipo	Plomo-ácido	Ni-MH	Ion Litio
Voltaje célula (V)	2	1.25	3.6
Número de células	156	250	87
Voltaje Batería (V)	312	312.5	313.5
Fiabilidad célula (%)	98.45	97.53	99.14
Fiabilidad batería (%)	85.55	77.9	91.69

Tabla 3 Fiabilidad de las baterías de los EVs. Fuente: [2]

Como se puede ver en la tabla 3, a parte de que gracias a las propiedades del litio se consigue que una batería este conformada por menos células o módulos y reducir el peso del vehículo, la fiabilidad final de la batería al conectar las células en serie alcanza una fiabilidad de más del 91%, a diferencia, de los otros tipos en los que se ve reducida.

Los vehículos eléctricos de baterías, BEV, están equipados totalmente con baterías de gran capacidad para conseguir amplios rangos de conducción. Junto con una tecnología inmadura, esto provoca que el costo de fabricación de los BEV sea alto en su etapa inicial de desarrollo y comercialización.

Los PHEV son una solución parcial entre el vehículo de combustión interna (ICE) y los BEV. Mientras que los BEV dependen completamente de la electricidad almacenada en sus baterías para su propulsión, los PHEV emplean su sistema de combustión cuando se agota la batería que llevan equipada.

En la Tabla 4 se muestran algunas de las tecnologías de las baterías instaladas en algunos modelos de EV y PHEV.

Compañía	Modelo	Tipos
GM	Chevrolet Volt (PHEV)	LMO spiral
Toyota	Prius Alpha (PHEV)	NiMH
Toyota	Prius (PHEV)	NCA
Nissan	Leaf (BEV)	LMO
Mitsubishi	iMiEV (BEV)	LMO
BYD	E6 (BEV)	LFP
Tesla	Tesla Model S (BEV)	LMO
GM	Chevrolet spark (BEV)	LFP
Chrysler	Fiat 500e (BEV)	LFP
Honda	Honda Accord (PHEV)	LMO-NMC

Tabla 4 Tipo de tecnología de las baterías en los EVs. Fuente: [2]

1.4 Perspectiva de los vehículos eléctricos en el mercado mundial.

La impulsión del vehículo eléctrico continúa creciendo rápidamente. Tal es así, que en 2018, la flota mundial de vehículos eléctricos superó los 5,1 millones, 2 millones más que en el año 2017 según fuentes de la Agencia Internacional de Energía (AIE) (Figura 1)[3].

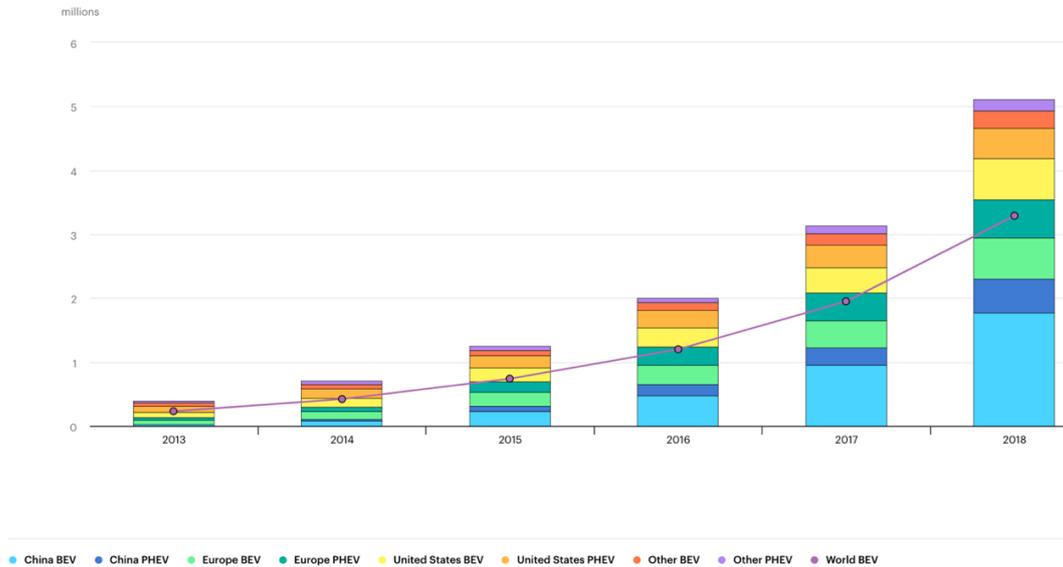


Figura 1 Coches eléctricos desplegados por región, 2013-2018. Fuente: IEA 2019[3]

La declaración firmada durante la cumbre climática de París en diciembre de 2015 establece que para el año 2030 la proporción de VE en la flota global alcanzará al menos el 20% del total. Por otro lado, la AIE pronostica en su informe de 2019 que en el año 2030 la integración alcanzará el 30%, donde alcanzarían los 23 millones y el stock superará los 130 millones de vehículos [3].

2. SMART GRIDS

2.1 Concepto red inteligente o Smart Grid

Una red inteligente o Smart Grid es una red eléctrica que utiliza tecnologías digitales y otras tecnologías avanzadas para monitorizar y administrar el transporte de electricidad desde todas las fuentes de generación para satisfacer las diferentes demandas de electricidad de los usuarios finales [4].

Las redes inteligentes incluyen redes de electricidad (sistemas de transmisión (TS) y distribución (DS) e interfaces con usuarios de generación, almacenamiento y usuarios finales.

Estas redes inteligentes cuentan con medidores inteligentes, que sustituyen a los tradicionales en los hogares y empresas, que son capaces de recopilar datos y establecer una comunicación bidireccional sobre la oferta y la demanda entre productores, operadores de red y consumidores. Se consigue así operar de la manera más eficiente posible, minimizando costos y los impactos ambientales.

Aprovechando la información de los datos y mediante su tratamiento, las plantas de generación de energía pueden predecir y responder mejor en los períodos de máxima demanda. La red inteligente mejora la flexibilidad al tiempo que maximiza la confiabilidad, la eficiencia y la estabilidad del sistema eléctrico, esto mejorará la integración de nuevos métodos de generación de electricidad más intermitentes como son las energías renovables, y de nuevas tensiones en la red con los vehículos eléctricos.

2.2 Principales características

Algunas de las características principales que nos ofrecen las redes inteligentes son:

- Participación directa de los consumidores
Las redes inteligentes permiten que los consumidores tengan conocimiento y control sobre sus consumos, precios de la electricidad e incentivos; ayudando a equilibrar la oferta y la demanda y asegurando la confiabilidad.
- Se adapta a cualquier forma de generación y almacenamiento
Con la creciente variedad de recursos de energía distribuida a disposición del cliente, la red inteligente es capaz de incorporarlos al sistema.
- Proporciona la calidad de energía dependiendo de las necesidades
No todos los clientes necesitan la misma calidad de energía, este grado de calidad de energía es suministrado por la red inteligente y tendrá unos costos adicionales.
- Optimización en la utilización de activos y eficiencia operativa
Se consigue que los activos se utilicen a mayores cargas con el control y clasificación continua de sus capacidades. Mediante condiciones de mantenimiento mejoran la eficiencia del mantenimiento de equipos en el momento preciso. Además, el uso de dispositivos de control del sistema para reducir pérdidas y eliminar la congestión.
- Robustos a disturbios, ataques y desastres naturales.
Ante una problemática en el sistema, la red eléctrica aísla estos elementos que dan problema y opera con normalidad hasta que se solucionan estos eventos imprevistos[4]

2.3 Operadores de sistemas de transmisión (TSO), operadores de sistemas de distribución (DSO) y agregador

Los Operadores de Sistemas de Distribución (DSO, del Distribution System Operators en inglés) es el responsable de distribuir la energía desde las redes de los Operadores de Sistemas de Transporte (TSO) hasta el Usuario Final para el consumo de la energía [5].

Los Operadores de Sistemas de Transporte (TSO, del Transmission System Operator en inglés) es la figura responsable del transporte de la electricidad desde su generación hasta la red de distribución eléctrica [6].

El agregador es un dispositivo de control que puede recopilar toda la información sobre las cargas de generación distribuida como los coches eléctricos y el estado de la red, y ejecutar la operación de transferencia de energía. Es decir, el agregador es responsable del control coordinado entre las cargas.

Los DSO y TSO se enfrentan cada vez más a desafíos similares y comparten intereses comunes: integración de grandes cantidades de fuentes de energía renovables, facilitación de servicios de flexibilidad (incluida la respuesta del lado de la demanda), despliegue de nuevos equipos y software de comunicación, mayor necesidad de datos y la renovación de redes envejecidas [7].

3. CONCEPTO V2X

El término “vehículo a cualquier cosa” (V2X, por sus siglas en inglés Vehicle-to-Anything) hace referencia a tecnologías que utilizan la energía procedente de las baterías de los vehículos eléctricos enchufables para cualquier aplicación fuera del vehículo. Estas aplicaciones incluyen las de “vehículo a casa” (V2H, vehicle to home en inglés), cuando se aplica en hogares o pisos comunitarios, “vehículo a vehículo” (V2V, vehicle to vehicle en inglés) en el caso entre vehículos y “vehículo a red” (V2G, vehicle to grid en inglés) donde la aplicación es sobre una entidad gestora de la red eléctrica. También encontramos los términos de vehículo a infraestructura (V2I, vehicle to infraestructura) y vehículo a edificación (V2B, vehicle to building). En la Figura 2 se muestran algunas de las aplicaciones de V2X.



Figura 2 Aplicaciones del V2X. Fuente:[8]

3.1 Principales características de V2H

"Vehicle to Home" es un sistema que permite suministrar al hogar la energía almacenada en la batería. El sistema ayuda a aliviar el consumo de energía en los períodos pico cuando la demanda es más alta. Además, también sirve como fuente de suministro de respaldo en caso de emergencias a corto plazo.

Son ya varios los fabricantes que han anunciado que han desarrollado este tipo de sistemas de energía. Entre los pioneros encontramos a Nissan y Toyota, que promueven este tipo de sistemas como extra para sus propios vehículos, el Nissan Leaf y el Toyota prius. Y que, ya tienen en marcha varios proyectos pilotos.

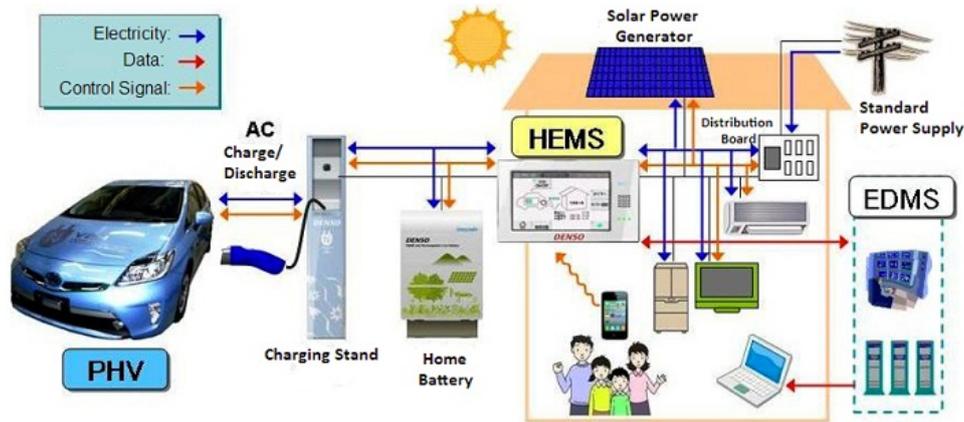


Figura 3 Sistema de energía independiente con vehículo a casa V2H (HEMS: Home Energy Management System, EDMS:Energy Data Management System). Fuente: [9]

En la Figura 3, se muestra un esquema ejemplo del funcionamiento del sistema de energía independiente para el hogar desarrollado por Toyota. Según Toyota, un inversor AC100 V a bordo del Toyota Prius PHV convierte la energía que suministra la batería del vehículo en AC adecuada para el uso doméstico, mientras que el flujo de energía se controla según la comunicación entre el vehículo, el soporte de carga y el hogar [10].

La idea es que este sistema de suministro de energía bidireccional se combine con la generación de electricidad a partir de placas fotovoltaicas o aerogeneradores eólicos para almacenar la electricidad de bajo precio generada durante la noche (período de baja demanda) en la batería del vehículo y usarla durante las horas picos de consumo.

El objetivo detrás de todo este sistema es lograr la independencia energética y que el automóvil actúe como una batería de respaldo si tu sistema de autoconsumo no genera lo suficiente para hacer frente al consumo ese día. También, persigue que sirva como fuente de energía estable en casos de desastres naturales que pueden producir cortes en el suministro eléctrico, especialmente, en zonas propensas a sufrir este tipo de situaciones, como Japón.

Algunas de las características que ofrece este sistema son [11]:

- V2H tiene una configuración muy simple, lo que resulta fácil de lograr en la realidad. No es necesario cambiar en gran medida la red eléctrica doméstica.
 - V2H es capaz de suavizar el perfil de carga diaria (DLP, en inglés “Daily Load Profile”).
 - V2H puede proporcionar la potencia reactiva a la red doméstica o a la red comunitaria.
 - El soporte de energía reactiva es posible independiente de las baterías de los EV porque cada cargador puede ofrecer su condensador para la operación de la red.
- V2H tiene una eficiencia muy alta durante la operación.
- V2H mejora la efectividad de las energías renovables y el autoconsumo mediante el uso de los vehículos eléctricos como almacenamiento.
 - V2H puede mejorar enormemente el desarrollo de la red inteligente.

3.2 Principales características de V2V

Cuando disponemos de un conjunto de vehículos eléctricos enchufables se puede realizar fácilmente la distribución de energía entre ellos, controlados por un dispositivo de control como es el agregador, y luego interactuar con la red en caso de necesidad energética. Algunas de las características que ofrece este sistema son [11]:

- V2V puede involucrar grandes cantidades vehículos.
- Junto con V2H, mejoran la coordinación de los EVs con la red eléctrica.
- El agregador se emplea para el control coordinado del V2V y la red eléctrica.
- El trabajo de V2V es menos simple y menos flexible que V2H.
- V2V no requiere una infraestructura compleja y tiene pequeñas pérdidas de transmisión.
- V2V mejora la cooperación con las energías renovables.
- V2V puede mejorar aún más el desarrollo de la red inteligente.

3.3 Principales características de V2G.

Debido a la pequeña cantidad de energía que almacenan las baterías de los VE, un solo VE no tendría impacto sobre la red eléctrica. Por lo tanto, el contexto en el que se contempla el V2G es para un grupo amplio de VE y su distribución a la red eléctrica. Algunas de las características que ofrece este sistema son [11]:

- V2G involucra a una gran cantidad de EV y se opera a gran escala.
- V2G puede ser utilizado en hogares, estacionamientos o estaciones de carga rápida para intercambiar energía con la red.
- Está controlada por los agregadores.
- Las estrategias de optimización para el sistema de V2G son altamente factibles y flexibles.
- V2G es complicado de controlar, pero es más flexible.
- V2G mejora el desarrollo de la red inteligente.
- La transferencia de energía del vehículo a la red debe lograrse sin problemas sin cambiar el voltaje, el factor de potencia o la frecuencia de la red.

4. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA ‘VEHÍCULO A RED’ (V2G)

El uso de vehículos eléctricos crece con cada día que pasa y constituye una carga adicional en la red existente. En este caso, existe la necesidad de una inversión adicional en la infraestructura, y los costos son bastante altos. Estos vehículos eléctricos almacenan grandes cantidades de energía de forma confiable, por lo que, la idea de usar vehículos eléctricos como fuente de energía está sobre la mesa. De esta forma, se evitará una inversión adicional en el sistema existente.

Hoy en día, los vehículos eléctricos son capaces de transferir energía a la red, esta tecnología se llama V2G, los usuarios pueden cargar la batería cuando los precios de la energía son bajos y proporcionar un respaldo para la demanda energética actual de la red y obtener beneficios financieros por ello.

Los EV se utilizan como fuente de energía y como carga. Los vehículos con tecnología V2G generalmente se cargan en momentos en que la producción de electricidad es más alta, o en momentos en que el precio de la electricidad es bajo en los momentos de carga mínima, vendiendo la energía a la red en momentos de carga máxima con precios altos o cuando hay una alta demanda de energía.

Además, esto puede llegar a establecer una estructura de red dinámica que garantice la continuidad energética, proporcionando energía adicional a la red, aumentando la fiabilidad y la eficiencia del sistema energético.

4.1 Cómo funciona V2G

V2G es la tecnología que consiste en la transferencia de energía en dos direcciones, ya sea desde el vehículo a la red si la energía almacenada en la batería es alta o desde la red al vehículo cuando la energía almacenada en la batería es baja [20]. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de diagrama del funcionamiento de V2G. El EV está conectado a una estación de carga bidireccional, que da servicio a la casa o a la red principal. Con esto, el vehículo eléctrico puede suministrar energía a la casa o a la red. Existe una unidad de control y monitoreo para proporcionar una entrada precisa a la batería comparando la señal de referencia integrada en el coche y las salidas del convertidor de potencia (debido a que el convertidor es bidireccional, ambos lados pueden considerarse como el lado de salida).

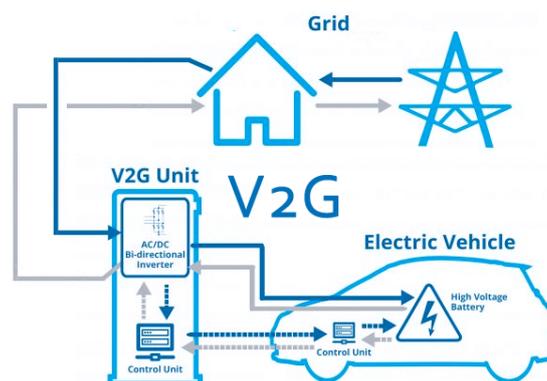


Figura 4 Diagrama de funcionamiento de V2G. Fuente: [12]

Con el fin de llevar el nivel del voltaje de la red principal al nivel apropiado de la batería o viceversa, se emplea un inversor bidireccional para la conversión de CA/CC o CC/CA. Estas operaciones se realizan dependiendo de la cantidad de energía en la batería y la estrategia de carga que se establezca.

Para implementar esta tecnología V2G son necesarios 3 elementos:

- 1) Conector que permita la conexión del vehículo a la red y el intercambio de energía eléctrica.
- 2) Control o conexión lógica, necesaria para que el operador de la red determine la capacidad disponible, solicite servicios auxiliares o energía del vehículo.
- 3) Medición certificada de precisión a bordo del vehículo para medir exactamente cuánta potencia o servicio ha proporcionado el vehículo a la red.

4.2 Estándares de comunicación V2G

Para la carga de vehículos eléctricos se han propuesto diferentes esquemas de comunicación basados en internet para evitar problemas de compatibilidad entre las estaciones de carga. Para ello, se han establecido unos estándares de comunicación obligatorios que han de cumplir las compañías fabricantes. Entre los estándares de comunicación que se aplican a la carga de vehículos eléctricos que usan la tecnología V2G se muestra en la Figura 5 [8]

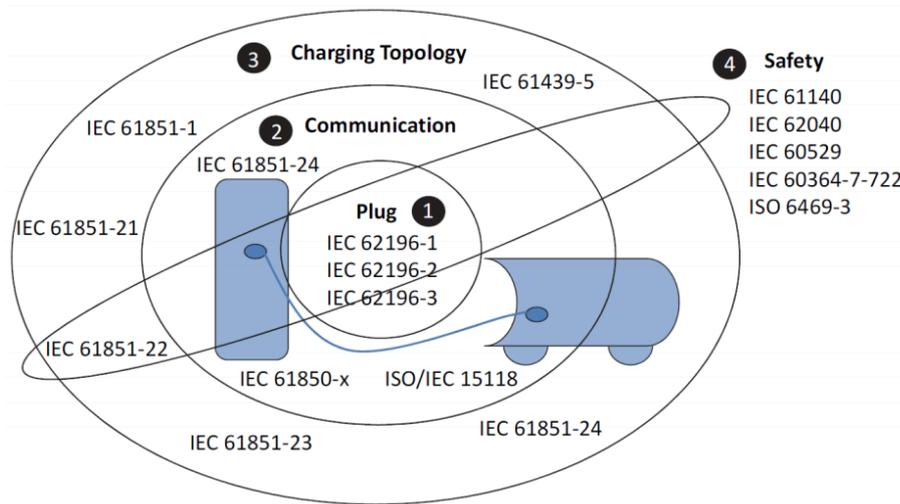


Figura 5 Estándares de comunicación en la carga de vehículos eléctricos con tecnología V2G.
Fuente: [8]

Dentro de los estándares se distinguen las siguientes partes:

(1) Las estructuras de los conectores o enchufes

- IEC 62196-1: enchufes, tomas de corriente, acopladores de vehículos y entradas de vehículos: carga conductiva de vehículos eléctricos, carga de vehículos eléctricos de hasta 250 A CA y 400 A CC.
- IEC 62196-2: enchufes, tomas de corriente, conectores de vehículos y entradas de vehículos: carga conductiva de vehículos eléctricos, compatibilidad dimensional y requisitos de intercambiabilidad para clavijas de CA y accesorios de tubos de contacto.
- IEC 62196-3: enchufes, tomas de corriente y acopladores de vehículos: carga conductiva de vehículos eléctricos, requisitos de intercambiabilidad dimensional para clavija y acoplador de tubo de contacto con voltaje de funcionamiento nominal de hasta 1000 V CC y corriente nominal de hasta 400 A para carga de CC dedicada.

(2) Los métodos de comunicación

- IEC 61850-x: Redes y sistemas de comunicación en subestaciones.
- ISO / IEC 15118: interfaz de comunicación vehículo a red.

(3) Las topologías de carga

- IEC 61439-5: conjuntos de aparata de baja tensión y equipos de control, y conjuntos para distribución de energía en redes públicas.
- IEC 61851-1: sistema de carga conductora de vehículos eléctricos: requisitos generales.
- IEC 61851-21: Sistema de carga conductiva del vehículo eléctrico: requisitos del vehículo eléctrico para la conexión conductiva a un suministro de CA / CC.
- IEC 61851-22: Sistema de carga conductora de vehículos eléctricos: estación de carga de vehículos eléctricos de CA.
- IEC 61851-23: Sistema de carga conductora de vehículos eléctricos: estación de carga de vehículos eléctricos de CC.
- IEC 61851-24: sistema de carga conductiva para vehículos eléctricos: protocolo de comunicación de control entre el cargador de CC externo y los vehículos eléctricos.

(4) Las normas de seguridad e interoperabilidad

- IEC 61140: Protección contra descargas eléctricas: aspectos comunes para la instalación y el equipo.
- IEC 62040: Sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS).
- IEC 60529: Grados de protección proporcionados por los gabinetes (código IP).
- IEC 60364-7-722: instalaciones eléctricas de bajo voltaje, requisitos para instalaciones especiales o ubicaciones: suministro de vehículos eléctricos.
- ISO 6469-3: Vehículos de carretera propulsados eléctricamente, especificaciones de seguridad y protección de personas contra descargas eléctricas.

4.3 Electrónica de potencia de V2G

En los sistemas V2H, V2V y V2G, la electrónica de potencia son sus componentes de hardware fundamentales para realizar la conversión de energía eléctrica. En los vehículos eléctricos, agregar capacidad V2G requiere poca o ninguna modificación en la estación de carga y ninguna modificación en los cables o conectores, pero la electrónica de potencia a bordo debe estar diseñada para este propósito[13]. Un diagrama del sistema de carga/descarga bidireccional para los vehículos eléctricos se muestra en la Figura 6. Este esquema es válido tanto para tecnologías V2G como V2H.

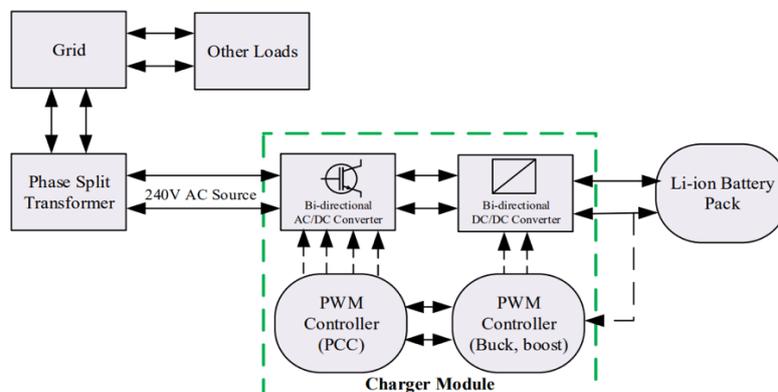


Figura 6 Diagrama general de flujo de energía para tecnología V2G y V2H. Fuente: [11]

El funcionamiento del esquema de la Figura 6 es el siguiente: el paquete de baterías del vehículo eléctrico está conectado a un módulo de carga. La red, además de suministrar energía a otras cargas, mediante un transformador para adecuar el nivel de potencia al módulo de carga. Este módulo de carga tiene dos convertidores: un convertidor inversor CA/CC para la conversión de la potencia de la red de CA a CC para la batería y, un convertidor CC/CC para cambiar el nivel de voltaje CC dependiendo del módulo de carga. Estos convertidores están controlados por un dispositivo de modulación de pulso (PWM).

4.4 Sistema de carga de las baterías de los VEs

Se establecen 3 topologías de carga en función de la potencia que proporciona el sistema al vehículo. Estos métodos de carga se clasifican en función de su uso y aplicaciones:

Tipo 1: Se usa para vehículos que generalmente están estacionados en residencias y lugares de trabajo durante mucho tiempo debido a su sistema monofásico. El tiempo de carga de la batería, que es largo y lento, no provoca sobrecarga en la red existente.

Tipo 2: Se usa en lugares donde hay una gran densidad, como hoteles, mercados, hospitales, universidades, aeropuertos y centros comerciales. Proporciona carga de velocidad media dentro de 1 a 4 horas de períodos.

Tipo 3: Conocido como modo de carga rápido. Estos supercargadores ofrecen la posibilidad de cargar las baterías en cortos períodos de tiempo, entre 15 y 30 minutos, en áreas como pausas breves donde hay una necesidad urgente de energía. Aunque tiene tanto el modelo de CA como el de CC, causa demasiada carga para la red debido a su alto valor de corriente.

En la Tabla 5 se muestran los estándares de carga de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) [11]. En el caso de una instalación de carga para el hogar, se recomienda un nivel de potencia superior a 3kW para ofrecer más margen para soporte de potencia reactiva y lograr tiempos de carga de la batería menores.

Tipo de carga	Voltaje nominal	Corriente nominal	Potencia
Tipo 1 AC (1-fase)	120V	12A o 20A	1.44kW o 1.92kW
Tipo 2 AC (1-fase)	240V	40A o 80A	7.7kW o 19.2kW
Tipo 3 AC (3-fases)	208V, 480V y 600V	400A	Más de 100kW
Tipo 1 DC	200-450V	80A	<36kW
Tipo 2 DC	200-450V	200A	<90kW
Tipo 3 DC	200-600V	400A	<240kW

Tabla 5 Topologías de carga para VE enchufables. Fuente:[11]

PARTE 2 | INTEGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA V2G

5 INTEGRACIÓN V2G

Desde el punto de vista del sistema eléctrico, cuando se piensa en los vehículos eléctricos, se piensa que serán un elemento de carga más que la red eléctrica tendrá que soportar y dar servicio. En contraste con este pensamiento, diversos estudios muestran que los vehículos de propulsión eléctrica (batería, híbridos o de pila de combustible) tendrán un papel con un gran potencial que desempeñar como recursos de servicios públicos y como servicios auxiliares.

Esto se puede lograr con la tecnología V2G, una gran variedad de artículos ha explorado los beneficios potenciales de la introducción de esta tecnología en los vehículos de propulsión eléctrica y su integración en la sociedad, así como las barreras que impiden su adopción a gran escala.

A continuación, se describen los amplios beneficios y riesgos que supondrían su integración. Estas implicaciones están basadas en la recopilación de numerosas investigaciones publicadas sobre el tema.

6 POTENCIAL DE INTEGRACIÓN DE V2G

6.1 V2G y la carga controlada

Como sabemos, la tecnología V2G permitirá a los propietarios de los vehículos hacer uso de la infraestructura de red y sus servicios en cualquier sitio y en cualquier momento, esto plantea un escenario de miles de cargas distribuidas repartidas por todo el territorio que conllevarán un gran desafío para el sistema de energía actual.

Además, si no se controlan las cargas derivadas de la carga de los vehículos eléctricos podría provocar un impacto negativo en la red considerable, que propiciara una degradación de la calidad de la energía y la sobrecarga de los transformadores, ya que estos no se diseñaron teniendo en cuenta la posible demanda de carga de EV. Esto llevaría a actualizar los componentes de la red, pero darle solución a este problema supone unas inversiones muy grandes.

Según la norma UNE-EN 50160 sobre normativa de calidad de suministro, considera apto para la estabilidad de la red, una desviación de tensión de hasta el 10% para baja tensión durante el 95% del tiempo [14]. Los resultados de desviación de voltaje obtenidos para una penetración del 30% de EV fueron del 10%, que, integrando para diferentes penetraciones de EV, se obtuvo que para una penetración del 60%, las desviaciones ascendían hasta el 40%. Sumado a que, al no controlar la carga, se producía también distorsiones armónicas [15].

Para mitigar esta problemática de la llegada masiva de los vehículos eléctricos, se puede hacer uso de la tecnología V2G para integrar estos vehículos eléctricos en el sistema de energía existente y no poner en peligro la estabilidad y la confiabilidad de la red.

En este sentido, el artículo [15] analiza los efectos que tendrían los diferentes modos de interacción de los EV con la red. Comparando 3 modos de interacción: (1) Carga descoordinada, (2) V2G unidireccional coordinado y (3) V2G bidireccional coordinado. El resumen de las características de estos 3 modos de interacción se muestra en la Tabla 6.

Características	Carga descoordinada	V2G unidireccional coordinado	V2G bidireccional coordinado
Requisitos técnicos	- No sistema de interacción - No agregador de EV - No coordinación de EV	- Sistema de doble comunicación - Agregador de EV - Coordinación de carga	- Sistema de doble comunicación - Carga bidireccional - Agregador de EV - Coordinación de carga/descarga
Impacto en la red	- Pérdidas de potencia - Caída de voltaje en la red - Picos de carga elevados - Efectos en la frecuencia - Sobrecarga de líneas - Sobrecarga de trafos	- Llenado del valle de carga - Regulación de voltaje - No sobrecarga de líneas - No sobrecarga de transformadores	- Llenado del valle de carga - Afeitado del pico de carga - Regulación de voltaje - No sobrecarga de líneas - No sobrecarga de transformadores
Efectos en la batería de los EV	- No supone degradación	- No supone degradación	- Causa degradación adicional
Costos/Beneficios económicos	- Incremento de los costes de electricidad para las compañías - Incremento de los costes de carga de EV para los usuarios	- Reduce los precios de electricidad para la compañía - Reduce los costes de carga de EV para los usuarios	- Reduce los precios de electricidad para la compañía - Reduce los costes de carga de EV para los usuarios - Reembolso para usuarios por prestar servicios auxiliares a la red
Factibilidad	- Ya existente	- Baja dificultad	- Gran dificultad

Tabla 6 Características de los diferentes modos de interacción de los EV con la red. Fuente: [16]

Las conclusiones que podemos extraer son que, conforme la penetración de los vehículos eléctricos crezca, aumentará la necesidad de un sistema de gestión de las cargas como es V2G para hacer frente a los numerosos problemas que pueden producir en la red eléctrica.

También, vemos que los beneficios que aportaría el control de las cargas de los EV son muy significantes como para tenerlos presentes tanto para beneficio de las compañías como para los usuarios. Sin embargo, es cierto que la tecnología V2G bidireccional tiene el agravante de la aceleración de la degradación de las baterías, por lo que, en la espera de solucionar este obstáculo, la tecnología V2G unidireccional puede servir como primer contacto para establecer una base sólida para implementar V2G bidireccional en el futuro.

6.2 V2G y las energías renovables

Uno de los beneficios bien conocidos en la literatura de la tecnología V2G es la capacidad para complementarse con las nuevas fuentes de energía renovables, especialmente de generación eólica y solar. Este interés viene de la posibilidad de resolver uno de los problemas que presentan las fuentes de energía renovable.

El principal inconveniente es debido a que, en este tipo de sistemas, no es posible adaptar la generación a la demanda, es decir, no es posible controlar la generación de estas. Esto provoca

una intermitencia en la generación renovable que debe ser controlada por los operadores de red y supone un gran desafío.

El papel que jugaría el V2G sería de un complemento para la generación renovable, ya que la función de control y regulación de los vehículos eléctricos conectados a red se puede utilizar para suavizar las pequeñas fluctuaciones inesperadas en la producción de energía fotovoltaica o eólica.

En el caso de estudio, la fotovoltaica y la eólica, están cada vez más presentes como métodos de generación de electricidad para hacer frente a la demanda. Además, según el marco de actuación sobre clima y energía para 2030, la UE se ha fijado como objetivo clave una cuota mínima del 32% de consumo final de energía de origen renovable [17].

Por lo tanto, la demanda y el valor de los servicios del V2G pueden alcanzar una importancia relevante en el futuro a medida que las intermitencias de las energías renovables se conviertan en una fracción mayor de la generación eléctrica conforme las energías renovables estén cada vez más presentes.

Otro amplio beneficio discutido del V2G, es la idea de la integración de la generación distribuida ligada con el vehículo a casa (V2H). Esto permitiría almacenar en la batería del vehículo del propietario los excedentes de generación solar o eólica para, después, conectar tu vehículo eléctrico a la casa en casos de baja generación donde la demanda energética del hogar es superior a la generada.

6.3 V2G y los servicios auxiliares de red (servicios TS)

La carga controlada, o carga inteligente, de los miles de vehículos eléctricos que se espera que tomen las carreteras en los próximos años, permitirá, mediante V2G, a estas fuentes de energía sobre ruedas proporcionar un conjunto de servicios auxiliares. En principio, pueden resultar en ahorros significativos para las compañías de red y en remuneraciones para los propietarios de los vehículos por prestar estos servicios.

Entre los beneficios de los servicios auxiliares que V2G podría proporcionar a la red encontramos:

6.3.1 Regulación de frecuencia

Los operadores del sistema de transmisión (TSO) deben hacer coincidir continuamente la generación de energía con el consumo. La regulación requiere una instalación de generación que pueda aumentar o disminuir la potencia bajo el control en tiempo real del operador de la red.

Haciendo uso de la carga controlada, V2G permite contar con una flota de vehículos eléctricos conectados a red con una capacidad de potencia, que el operador de red dispondrá como servicio, para regular constantemente la variación de frecuencia de la red. Esta regulación de frecuencia se utiliza para equilibrar la oferta y la demanda de energía activa. Actualmente, se logra principalmente mediante el ciclo de generadores grandes, lo cual es costoso. Las velocidades de carga y descarga rápidas de las baterías de los EV hacen que V2G sea una alternativa a tener en cuenta para la regulación de frecuencia.

En la investigación [18], se simula una estrategia de control de interfaz electrónica para realizar acciones de control centralizado para adaptar las condiciones de operación de los EV como, por ejemplo, para el caso de dar servicio de regulación de frecuencia.

Esta estrategia de control se probó en una micro red utilizando la plataforma de simulación Matlab/Simulink. Esta micro red estaba compuesta por un dispositivo de

almacenamiento central que actuaba de unidad principal de control de frecuencia para la operación isla, varias microfuentes (microturbinas y paneles solares fotovoltaicos), además de cargas controlables. Los efectos en la frecuencia de la micro red simulada, se muestran en la Figura 7.

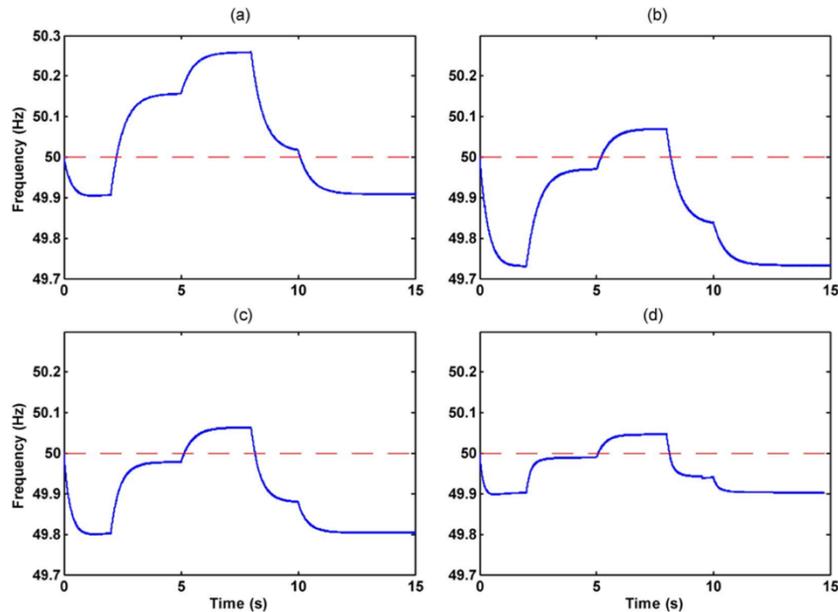


Figura 7 Evolución de frecuencia a distintas configuraciones de carga. (a) Sin EV. (b) EV con velocidad de carga fija. (c) EV con $f=49,5$ Hz. (d) EV con $f=49.9$ Hz. Fuente: [18]

En la Figura 7 (a), la frecuencia excesiva es dominante, se debe a que la generación excede a la carga, lo que sería posible cargar los EV, en el caso de período de baja carga. Si los EV se conectan a esta red con una velocidad de carga fija, la frecuencia baja de nivel, Figura 7 (b). En (b), los dispositivos de almacenamiento de la micro red simulada, mediante V2G, inyectaban, durante la mayor parte del tiempo, energía a la red para compensar el desajuste generación/carga. En las gráficas (c) y (d) de la Figura 7, se observa que, eligiendo el valor de frecuencia de cruce por cero, se obtienen muy buenos comportamientos reflejados en la regulación de la frecuencia.

6.3.2 Reservas de rotación (*spinning reserves*)

Los operadores de la red mantienen la capacidad de generación de reservas disponible para la producción de energía inmediata. El término ‘reservas de giro’ se refiere a los generadores que giran y se sincronizan con la red, listos para la alimentación inmediata de energía a la red. Por lo general, estas reservas se solicitan cuando una planta de energía se desconecta inesperadamente debido a algún fallo en los equipos. Por este motivo, se necesita regulación durante todo el día y la noche.

Se sabe que los vehículos eléctricos permanecen estacionados durante el 95% del día [13], por lo que la energía almacenada en las baterías de los vehículos eléctricos se puede emplear como reservas de rotación, teniendo estos la ventaja de que permiten tiempos de respuesta mucho más rápido que los generadores convencionales, que son lentos para sincronizarse con la red debido a problemas de arranque.

Para demostrar que el uso de los VE como reservas de rotación trae beneficios como: aumentar la confiabilidad del sistema, reducir los costos de operación y dejar ganancias en los

propietarios de propietarios de estos vehículos eléctricos, el artículo [19] investiga una programación óptima de los sistemas V2G para dar este servicio como es la reserva de rotación.

Los parámetros del sistema para el estudio son los mostrados en la Tabla 7:

Ítems	Parámetros
Vehículo eléctrico	Nissan Leaf, 30kWh
Lugar de carga	Hogar
Movilidad de los EV	Modelo construido en [20]
Perfil de carga de la red	Ontario, Canadá
Potencia de carga	6,6 kW
Potencia de descarga	1, 2, 3, 4 veces la potencia de carga
Cantidad de EV	10%, 20%, etc., de 6.727.791
Tiempo de uso de la electricidad	Ontario, Canadá

Tabla 7 Sistema de parámetros para el estudio del caso base. Fuente: [19]

A partir d estos parámetros, se construye un modelo matemático, que se puede ver en el propio artículo, para la reserva de rotación de EV en el que tiene en cuenta la movilidad de los vehículos eléctricos y se propone una escenario o estrategia de programación mejorada para lograr un compromiso óptimo entre los costos de cobro para los propietarios y una garantía mínima de las reservas de rotación para la red. En este escenario mejorado, la reserva de rotación mínima se puede elevar por encima del requisito de la red, lo que resuelve el problema de la programación inteligente convencional (Figura 8).

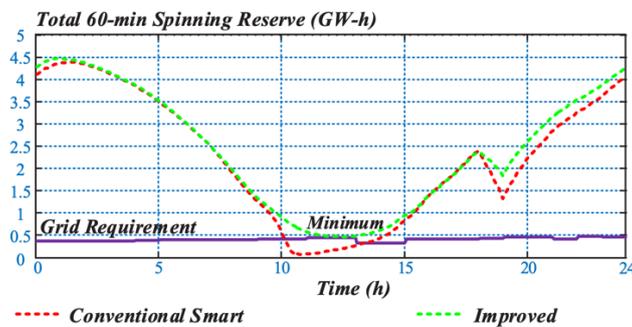


Figura 8 Reservas de rotación con escenario mejorado (verde) y con escenario convencional (rojo) en el caso de un 10% de penetración de EV. Fuente: [19]

Como vemos en la figura 9, se muestra la evolución de las reservas de rotación a lo largo del día y el comportamiento de estas para una estrategia convencional y la estrategia propuesta en el estudio, que se mantiene por encima de la requerida por la red. En consecuencia, el escenario mejorado puede elevar ligeramente el costo de las ganancias de los usuarios, como podemos observar en la Figura 9. Resultando que, las ganancias del usuario serán menores, pero, con ello, hemos conseguido mantener la fiabilidad del sistema de red.

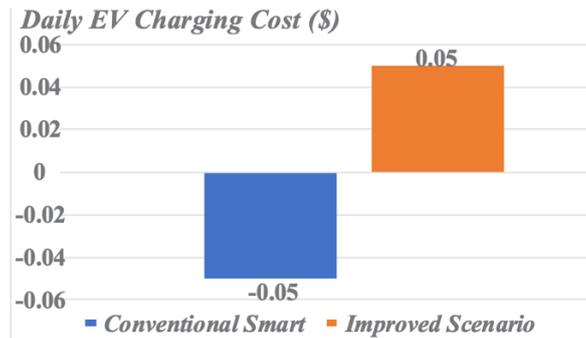


Figura 9 Costo de carga para usuarios con un escenario convencional (azul) y con un escenario mejorado (naranja). Fuente:[19]

6.4 V2G y los servicios de respaldo de suministro (servicios DS)

Este tipo de servicios de respaldo consisten en emplear los vehículos eléctricos como almacenamiento y, donde, la compañía de la red o cualquier otro DSO podría controlar la energía de las baterías para el mantenimiento de la red o como respaldos de emergencia de generación de respuesta rápida para hacer frente a fallas de los equipos o como respuesta a desastres naturales que interrumpen el servicio de energía y red.

A menudo se discute que los servicios DS son más dependientes de la calidad de la red en la que se ubican los vehículos eléctricos y que los servicios V2G son más potenciales en áreas rurales, donde las redes son más débiles, que en áreas urbanas.

Además, recientes investigaciones predicen que la energía de los vehículos con motor eléctrico podría reducir el requisito global de capacidad de generación de las estaciones centrales hasta en un 20 por ciento para el año 2050 [13]

Entre los servicios de respaldo de mayor interés encontramos:

6.4.1 Regulación de voltaje y corrección del factor de potencia

La distribución de la electricidad se produce generalmente en corriente alterna. Esto provoca que la corriente y el voltaje que tenemos en el enchufe no sea constante y sus valores fluctúen de manera sinusoidal. Cuando los valores de voltaje y corriente se desvían en el tiempo la forma característica de la onda, que se asemeja a un seno perfecto de frecuencia 50 Hz o 60 Hz dependiendo del país, la calidad de la energía de los sistemas de distribución se verá afectada por la introducción de armónicos, que pueden provocar fallos en los equipos que estén conectados.

Para hacer frente a este problema, existe un servicio de calidad de energía que monitorea constantemente la señal y regula, o corrige, las distorsiones a través de inyecciones o retiros de energía en fracciones de segundo [21].

Esta regulación de voltaje se utiliza para equilibrar la oferta y la demanda de potencia reactiva, es decir, se mejora el factor de potencia de la carga. En este sentido, los EV, con la utilización de la tecnología V2G, pueden responder rápidamente a las señales de regulación. Esta regulación puede ser controlada independientemente por cada EV. Se puede incorporar un control de voltaje en el cargador de batería. Un cargador puede compensar la potencia reactiva inductiva o capacitiva seleccionando adecuadamente el ángulo de fase actual. Cuando el voltaje de la red se vuelve demasiado bajo, la carga del vehículo puede detenerse. Cuando el voltaje se vuelve alto, la carga puede comenzar. Como consecuencia, la conexión de una gran cantidad de EV puede

causar sobrecarga del transformador o línea y problemas de estabilidad de voltaje, especialmente a niveles de voltaje más bajos.

6.4.2 Potencia máxima y nivelación de carga (Alivio de sobrecarga de línea)

Describiendo estrategias de control de carga inteligentes utilizando V2G se puede reducir la potencia máxima, o afeitado de pico, y nivelar la curva de carga, conocida también como llenado de valle. Eso se puede conseguir, a priori, con una estrategia de carga en la que se emplee la energía almacenada en las baterías durante los picos de carga diarios y cargando las baterías durante la noche en las horas de menor actividad, ergo demanda

Como ejemplo del impacto real que puede llegar a tener V2G en la potencia máxima, el artículo [22] presenta una metodología de modelado para analizar el impacto total de los vehículos eléctricos en la red.

Esta metodología propone un nivel de consideración más detallado para poder conocer de manera más precisa el impacto real de la adopción de los vehículos eléctricos, los beneficios de la tecnología V2G y su aplicación como forma de generación distribuida.

En el estudio base se enfoca en el impacto de la carga máxima residencial en la red de distribución en el estado australiano de Victoria.

Los enfoques del modelado integral diseñado para el análisis están descritos y se pueden consultar en el artículo. Aquí se exponen las principales características:

- 3 escenarios de absorción de EV
 - Caso de base sin reembolsos o incentivos en la compra de EV.
 - Caso de reembolso con un incentivo de 7500\$ sobre el precio de compra.
 - Absorción máxima con una penetración del 100% de los EV.
- 3 modos de carga:
 - Carga por demanda (Dem): los vehículos eléctricos se recargan únicamente en su base de origen al llegar a casa.
 - Carga fuera del pico (OP): los vehículos eléctricos se recargan únicamente en su base de operaciones con carga demorada hasta después de la medianoche, cuando sea posible.
 - Carga fuera del pico más V2H (OPV2G): los EV devuelven energía a la red en el hogar cuando es posible durante los tiempos de carga máxima. Los vehículos eléctricos se recargan únicamente en su base de operaciones, diariamente, con un retraso en la carga hasta después de la medianoche cuando sea posible.
- Modelo de captación de EV.

El modelo de captación se utiliza para estimar la penetración para 2033 de los cuatro tipos de vehículos diferentes (batería, híbrido enchufable, combustión interna) en todo el estado de Victoria bajo los tres escenarios diferentes de absorción de EV mencionados anteriormente. Además, se utilizan siete criterios para determinar los niveles de penetración: rendimiento del vehículo, costo inicial (precio de compra), costo anual (costos de mantenimiento y funcionamiento), ingresos del hogar, idoneidad demográfica, distancia de conducción requerida y familiaridad.

- Modelo de viaje de EV.

Se estima el comportamiento de los vehículos eléctricos mediante datos sobre el volumen de tráfico y encuestas de viajes y actividad proporcionado por el Departamento de Transporte de Victoria, con el objetivo de modelar los probables patrones diarios de conducción de los EV y los plazos y los períodos de disponibilidad para cargar y descargar en todo Victoria.

- Modelo de energía residencial.

Se utiliza un modelo de energía doméstica para proyectar el uso de energía residencial por hora y por día del año en todo el estado de Victoria. El modelo está basado en un perfil individual de consumo del hogar para mantener unas condiciones cómodas, que se simula con un software específico (AccuRate de CSIRO).

- Modelo de carga y descarga de EV.

El modelo de carga y descarga de EV utiliza el comportamiento del modelo de viaje para determinar la magnitud y el tiempo de los requisitos diarios de energía de carga EV y de energía en el hogar base y la magnitud y el momento de los posibles eventos de descarga cuando sea relevante. Además, de los modos de carga mencionados anteriormente, se consideran otros supuestos como:

- La eficiencia de los EV es de 0,18 kWh/km.
- Potencia de carga de 3,6 kW y potencia de descarga de 1,8 kW.
- Energía de carga basada en el modelo de comportamiento de viaje.
- Profundidad de descarga de la batería del 40%.
- Capacidad de la batería de EV de 25kWh y de 16kWh para PHEV.

Con todas estas consideraciones para establecer los modelos para determinar el impacto de la carga de vehículos eléctricos en las cargas eléctricas máximas, se presentan los resultados del perfil de carga generados para 2 cargas domésticas distintas (una vivienda con baja carga y otra con alta) y para los tres modos de carga mencionados. En la Figura 10 se muestran el perfil de carga generado para una carga doméstica baja y para tres modos de carga diferentes.

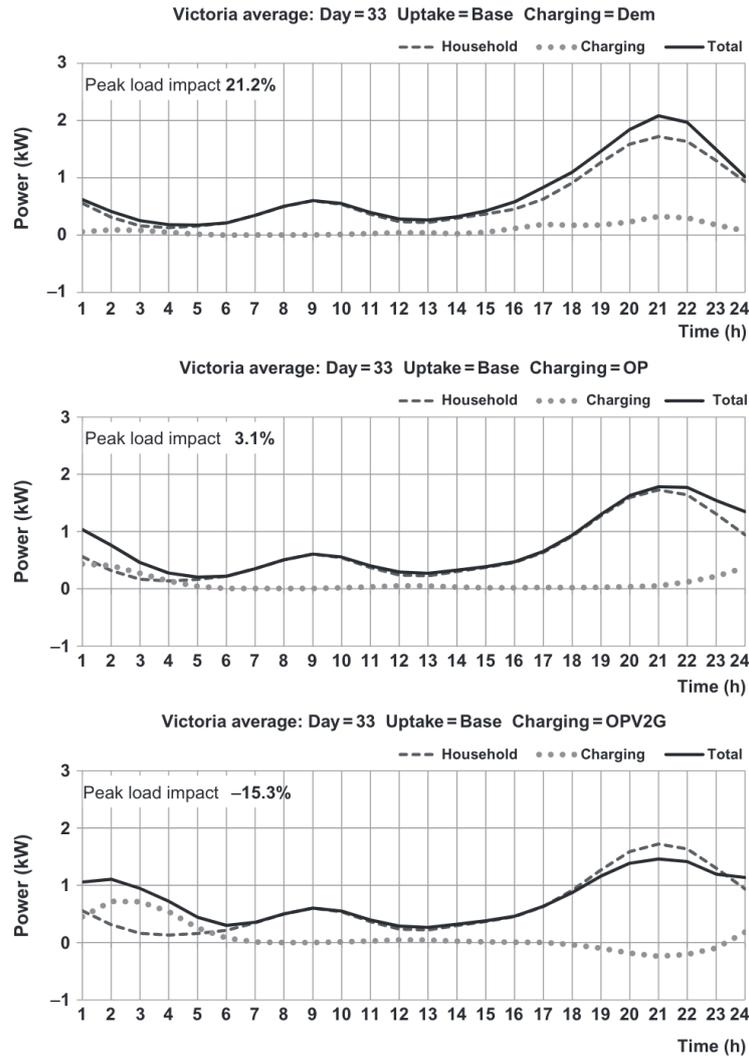


Figura 10 Perfil de carga generado en vivienda con baja carga domestica para 3 modos diferentes de carga: (Dem) Carga por demanda, (OP) Carga fuera del pico y (OPV2G) Carga fuera del pico más V2H. Fuente: [22]

Se observan los siguientes comportamientos en la red para la simulación. En la primera gráfica, la carga máxima, bajo un modo de carga por demanda, o descoordinado, aumenta aproximadamente en un 21,2%; en la segunda gráfica, retrasando la carga de los EV, se obtiene un incremento de la carga máxima de un 3,1%; Y, en la última gráfica, utilizando la tecnología V2G como soporte para la carga de la vivienda junto con el retraso del horario de carga, obtenemos que, la demanda máxima se reduce en un 15,3%.

En la Figura 11 se muestran el perfil de carga generado para una carga doméstica baja y para tres modos de carga diferentes.

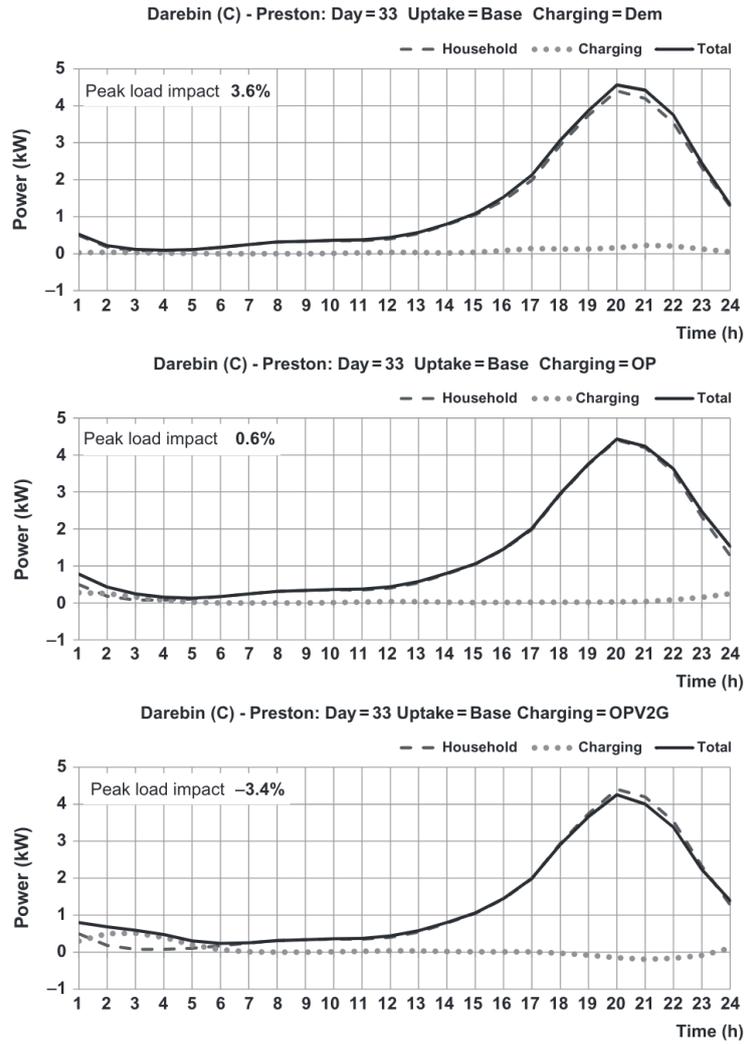


Figura 11 Perfil de carga generado en vivienda con baja carga domestica para 3 modos diferentes de carga: (Dem) Carga por demanda, (OP) Carga fuera del pico y (OPV2G) Carga fuera del pico más V2H. Fuente: [22]

En este otro caso, para una región con una carga doméstica más elevada, los resultados son los siguientes. La carga máxima se incrementa en un 3,6% y un 0,6% para una carga por demanda y la carga fuera del pico, respectivamente. Pero en el caso de la carga fuera del pico con V2G, se produce una reducción de la demanda máxima del 3,4%.

Estos resultados muestran cómo los EV pueden aumentar significativamente la demanda máxima de la red de distribución si su carga no se coordina adecuadamente. Por el contrario, si se gestiona su cobro para que se use fuera de horas pico, su impacto en la demanda máxima es mínimo. Además, si se integra la tecnología V2G, los EV pueden reducir la demanda máxima en muchas áreas mientras están disponibles para su uso habitual. Aunque esta metodología se ha aplicado al caso del estado de Victoria (Australia), se podrían usar técnicas similares para cualquier otra geografía.

6.5 Vehículo a casa (V2H)

Es cierto que V2G se debe principalmente a consideraciones de red, pero también se contemplan otras aplicaciones alternativas que pueden brindar estas redes inteligentes y que pueden beneficiar al propietario del vehículo y a la red eléctrica. Otra de las principales aplicaciones es la integración de nuestro vehículo eléctrico en nuestro hogar, como un nuevo participante activo en la generación de energía eléctrica.

El propósito de esta aplicación, como hemos comentado anteriormente, es lograr un sistema de energía independiente junto con otros sistemas de generación de energía que tenga el hogar.

Este sistema, además de aportar seguridad ante posibles cortes de electricidad, si se sigue una estrategia óptima de gestión de la energía, esto repercutirá en la carga eléctrica doméstica y ayudará a equilibrar la oferta y la demanda mediante el llenado de valles y el afeitado de pico máximo.

En el estudio [23], se analiza esta influencia en el sistema de energía de los vehículos eléctricos y una fuente de energía renovable como es la fotovoltaica que podríamos tener en el hogar con generación de autoconsumo.

Para la investigación del estudio, se toma como ejemplo un hogar de un usuario de una villa de Pekín, en el que se recolectan y analizan los datos del uso de la electricidad, la potencia instantánea, etc. El hogar cuenta con una instalación fotovoltaica, sistema de almacenamiento de energía de baterías. Además, en el hogar se encuentran diversos equipamientos eléctricos, como aire acondicionado, calefacción, frigorífico, televisión, etc.

Los efectos asociados del uso de estos sistemas, son principalmente 2: el cambio en las características de la carga doméstica y la influencia en la calidad de la red.

A continuación, se muestran los efectos de cada uno de los componentes de este sistema V2H compuesto por una instalación fotovoltaica y un vehículo eléctrico:

- **Efecto de la fotovoltaica en las características de carga de la red eléctrica**

En la Figura 12, se muestra la influencia en la carga de una instalación solar fotovoltaica (arriba) y la influencia en la carga de la instalación fotovoltaica con el sistema de almacenamiento de baterías (abajo).

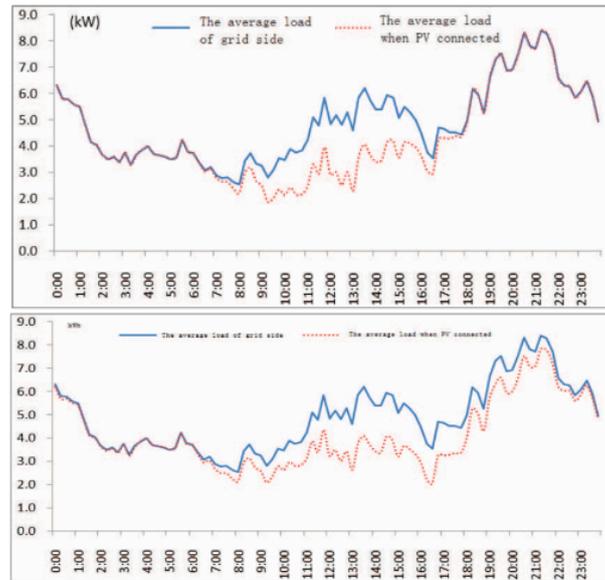


Figura 12 Curva de influencia en la carga de la red eléctrica para PV (arriba) y PV más sistemas de almacenamiento (abajo). Fuente: [23]

Se observa que la instalación fotovoltaica tiene gran influencia durante el período valle, aunque, el efecto en el pico es insignificante. También, el efecto de las baterías se puede apreciar en los picos de la noche, cuando la demanda es mayor y es mejor usar la energía de las baterías. Sin embargo, el período valle no se reduce tanto la carga en el período valle.

○ **Efecto del vehículo eléctrico en las características de carga de la red eléctrica**

El efecto del vehículo eléctrico se evalúa atendiendo al comportamiento de carga que un usuario podría tener dependiendo si se trata de días de trabajo o vacaciones. El efecto se puede ver en la Figura 13, resultando que, para los días de trabajo el pico del valle aumenta en los días de trabajo y se reduce en vacaciones.

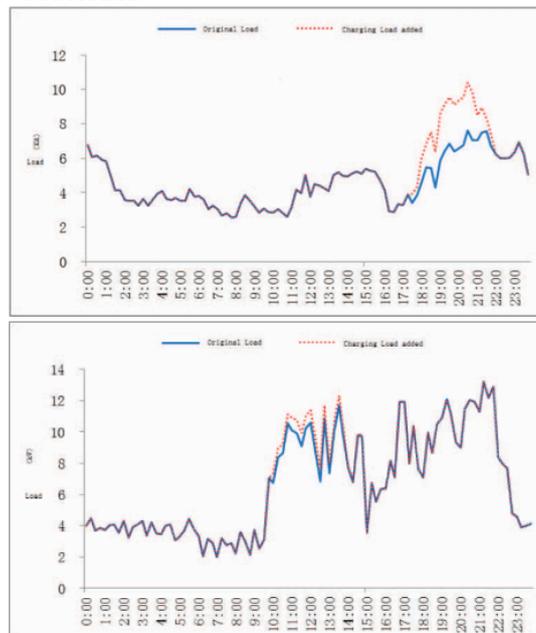


Figura 13 Superposición de las curvas de carga para vehículos eléctricos para días laborales (arriba) y vacaciones (abajo). Fuente: [23]

○ **Efecto final en la red eléctrica**

Los efectos en la red de la instalación fotovoltaica, el vehículo eléctrico y el sistema de almacenamiento de baterías se muestra en la Figura 14 diferenciando entre el que se produciría en días laborales (arriba) y en períodos de vacaciones (abajo).

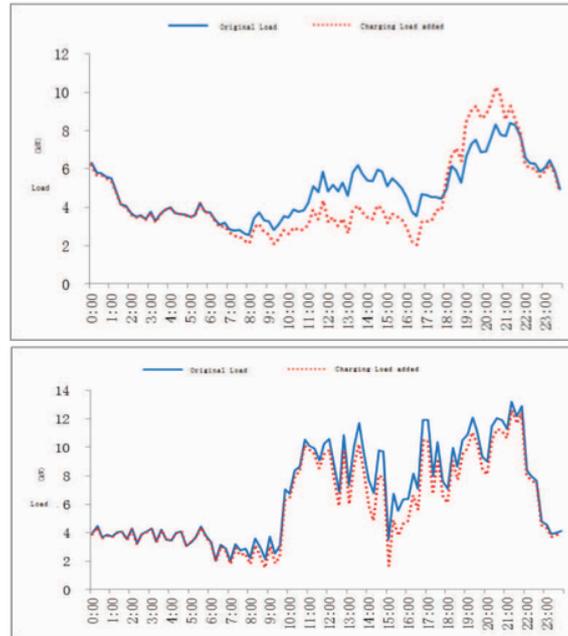


Figura 14 Curva efectos resultantes en la red eléctrica. Fuente: [23]

Como podemos observar, mientras que, los efectos de este tipo de sistemas que integran PV, V2H y sistemas de baterías, son significantes en los días laborales, en períodos de vacaciones los efectos no son tan evidentes. Lo que se puede destacar de aquí es que, la instalación fotovoltaica y el sistema de baterías tienen efectos muy positivos en la carga de la red eléctrica, reduciendo la energía en el valle y disminuyendo los picos máximos que supone la carga extra del vehículo eléctrico.

También, se aborda en el estudio el efecto en la red eléctrica si se tuvieran en cuenta la discriminación horaria de precios de la electricidad y se utilizara los períodos de baja demanda (bajo precio de la electricidad) para cargar los vehículos eléctricos. En la Figura 15, se compara la gráfica de la Figura 14 (arriba) de los efectos del EV en un día laboral con la nueva estrategia.

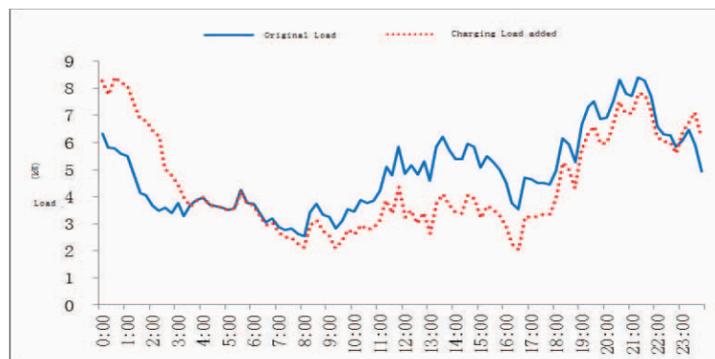


Figura 15 Curva de efectos en la carga de la red eléctrica para días laborales sin estrategia de carga (azul) y con estrategia de carga (naranja). Fuente:[23]

Analizando los resultados obtenidos vemos que, retrasando el período de carga del EV, siguiendo una estrategia de carga acorde con los precios de las tarifas de electricidad, la integración de este en la carga doméstica, no supondría un efecto negativo en la red eléctrica, sino que reduciría el pico máximo de carga y ayudaría a aplanar la diferencia entre el valle y el pico, ayudando a la estabilidad del sistema eléctrico.

6.6 Ahorros económicos

Cuando hablamos de los ahorros económicos que podemos alcanzar con la integración de esta tecnología, se pueden caracterizar tanto como beneficios económicos desde un punto de vista individual como posibles ahorros económicos en la red.

Las estimaciones de los ingresos individuales de V2G resultan en beneficios sustanciales. Algunos resultados económicos individuales clave de V2G se resumen en el estudio [13], año 2001, que informa sobre la conexión de infraestructuras de servicios públicos y los automóviles.

El contexto en el que se analizó la repercusión económica de los distintos vehículos eléctricos conectados a la red utilizando V2G, se describe a continuación:

- Precios de compensación de mercado en los mercados competitivos de electricidad de California (2001).
- Capacidad de potencia de los vehículos: vehículo con baterías (10kW), vehículos con celdas de combustible (40kW) y vehículos híbridos (30kW modo motor-generator).
- Parámetros técnicos de los vehículos de los vehículos eléctricos en producción o prototipos.
- Capacidad calculada según la capacidad del cargador, la capacidad del servicio eléctrico residencial y comercial, el combustible o electricidad necesarios para el próximo viaje, etc.
- Cálculo de costos del propietario del vehículo es integral e incluye los costos de capital por recambios, combustibles, acortamiento de batería y vida útil del motor de combustión interna por uso adicional.
- En muchos escenarios, la salida estaba limitada por la capacidad de la línea de las estaciones de carga existentes de 6 kW (Nivel 2), o estándares que alcanzaban los 16 kW (Nivel 3 AC).
- Los costos de la electricidad generada por cada tipo de vehículo según la configuración oscilaban entre: vehículos con baterías (0,23-0,45\$/kWh), vehículos con celdas de combustible (0,09-0,38 \$/kWh) y vehículos híbridos (0,19-0,21\$/kWh)

Estos costos de electricidad por vehículo, resultan demasiado altos como para competir en el mercado de potencia de carga base. En este estudio, se analizan para los siguientes 3 mercados: Energía máxima (Peak power), reservas de rotación (Spinning reserves) y servicios de regulación (Regulation Services). Estos dos últimos se tratan de servicios auxiliares.

Para cada combinación de vehículo y mercado de energía, se calculamos el precio de la energía en los mercados de electricidad de California y el costo para el propietario del vehículo por proporcionar dicha energía y que el vertido de energía mediante V2G se produzca cuando los ingresos superen al costo.

Como resultado, tenemos la Tabla 8 que resume las ganancias netas para los propietarios por el uso de V2G según el tipo de vehículo y el servicio que presten.

Tipo	Potencia Pico	Reservas de rotación	Servicios de regulación
Vehículos de batería	267 \$	720 \$	3.162 \$
Celdas de combustible	- 50 \$ a 1.226 \$	2430 \$ a 2685 \$	- 2.984 \$ a 811 \$
Híbridos	322 \$	1.581 \$	- 759 \$

Tabla 8 Resumen beneficios anuales individuales para el propietario del vehículo utilizando V2G para distintos servicios. Fuente: [13]

Estos resultados muestran que los servicios de regulación implican un mayor número de ingresos porque los vehículos pueden vender la regulación la mayor parte del tiempo. Además, los vehículos con batería parecen ser especialmente adecuados para los servicios de regulación, con ganancias en torno a 3.162\$ al año. Esto se debe a que la regulación exige ciclos menos profundos que las reservas máximas o giratorias, lo que provoca una menor degradación de la batería, como veremos más adelante.

Además, las baterías experimentan muy poca descarga neta al proporcionar tanto regulación hacia arriba como regulación hacia abajo. El valor neto estimado de los servicios de regulación de vehículos eléctricos de batería es de varios miles de dólares por año. Los vehículos híbridos y de celdas de combustible en modo motor-generador podrían proporcionar solo regulación hacia arriba, no hacia abajo, y la economía no es atractiva.

Si bien los servicios de respaldo de emergencia con la potencia pico puede desempeñar un papel importante en la seguridad, aunque, otros servicios proporcionarían un beneficio económico sustancialmente mayor para los propietarios de vehículos eléctricos.

En el caso de los beneficios económicos individuales, prácticamente todas las estimaciones de ingresos V2G son iguales, circulando alrededor de 900 coronas danesas o 100€ por mes, aparentemente según el potencial de ingresos del proyecto piloto en Dinamarca [24]. Por lo tanto, los beneficios económicos de V2G son un beneficio indiscutible, particularmente para las personas. A pesar de que todavía no se han discutido los ingresos precisos de esta tecnología y puede que aún no hayamos sido conscientes del alcance total del potencial de ingresos de V2G.

En el artículo [25], año 2012, se recogen las ganancias potenciales que se han obtenido en diversos análisis que comparan la regulación actual de la red existente con una regulación con soporte V2G, sirviéndonos de comparativo con el estudio anterior. Estos beneficios tienen un amplio rango debidos al valor del mercado. Entre este amplio rango encontramos:

- Valores desde 3777\$ a 4000\$ por año para vehículos que proporcionan una potencia reguladora de 10-15 kW.
- En Estados Unidos, analizando 4 mercados diferentes de servicios auxiliares, el rango variaba entre 90\$ y 2400\$ anuales, y una disminución de 2.9-6.2kW de regulación.
- En California, la aplicación de V2G supondría un valor anual entre 3038\$ y 5038\$.
- En Europa, los estudios de regulación muestran un rango de beneficio de 0 a 9600€ por año y por vehículo.
- En Dinamarca, un estudio establecía un rango entre 72€ y 1920€ al año por vehículo, con servicio de regulación secundaria y terciaria.
- Un estudio, en Inglaterra, simulando una flota que proporciona servicios de regulación puede llegar a ganar de 700€ a 900€ por año por vehículo.

Análisis de riesgos y beneficios en la utilización de la tecnología V2G en generación distribuida

- En Alemania, una investigación de los EV como reguladores de frecuencia primaria, secundaria y terciaria, las ganancias generadas alcanzaban entre 360-9600€ por año por vehículo. En Suecia, bajo este mismo escenario, no se encontraron ganancias.

7 IMPACTO DE INTEGRACIÓN DE V2G

7.1 V2G y la degradación de la batería

Estos servicios públicos y auxiliares, analizados anteriormente, que podría proporcionarnos la tecnología V2G; tiene una serie de efectos negativos sobre las baterías de los vehículos eléctricos que provocan la degradación de estas y su vida útil se ve comprometida.

Siendo este uno de los principales inconvenientes a los que se enfrenta V2G en su integración, varios investigadores han tratado de evaluar el impacto de estos servicios en la degradación de las baterías. Se han propuesto diferentes enfoques de análisis que nos permitirán contrastar tales efectos y poder sacar conclusiones. A continuación, se va a explicar varios estudios sobre este tema para conocer qué resultados se han alcanzado.

En el estudio [26] se evaluó y cuantificó los impactos que tendría participar en los servicios de vehículo a red sobre la degradación de la capacidad de las baterías en PHEV Y EV, desde una perspectiva del propietario del vehículo en términos de degradación de la batería y la frecuencia de reemplazo.

La degradación de la capacidad de la batería se calculó usando el siguiente caso base:

- Comportamiento de viaje según los datos de la Encuesta Nacional de Transporte del Reino Unido.
- Modelos de PHEV y EV basados en la media superior en la clase de vehículo SMMT (Society of Motor Manufacturers and Traders) simulado en el NEDC (New European Driving Cycle).
- Rango eléctrico de PHEV y EV de 34 km y 100 km respectivamente.
- Costo de las baterías de iones de litio de £ 800 kWh
- Conexión de vehículos oportunista a la red.

Las interacciones V2G bajo estudio fueron aquellas que proporcionan energía base y servicios auxiliares de red.

Se supuso que existía un agregador de energía, una infraestructura de carga completa y mediciones y comunicaciones para permitir que una flota de PHEV o EV sea capaz de proporcionar dichos servicios auxiliares para la red nacional. Y el tamaño de la flota utilizada en este trabajo representa la cantidad mínima de PHEV o EV requerida para cumplir con el nivel de potencia del servicio auxiliar y los requisitos de duración.

Con todas estas consideraciones previas, se calcula la degradación de la batería asociada a estas condiciones de operación. Y, además, se realizó un análisis de sensibilidad sobre los factores que afectan a la propiedad del vehículo y los costos operativos para ir más allá del rango de estimaciones disponibles en la literatura y de los vehículos en servicio actualmente. Estos son:

1. **Régimen de carga:** el propósito del viaje y la disponibilidad de una infraestructura de carga forman límites de comportamiento y técnicos, respectivamente, a la cantidad de tiempo y energía que el vehículo podría proporcionar un servicio V2G

2. **Capacidad de la batería:** la capacidad de la batería determina el rango de autonomía que el vehículo eléctrico puede entregar en un ciclo de conducción.

3. **Profundidad de descarga del vehículo para entregar una reserva rápida firme:** La profundidad de descarga, DOD (Depth of discharge, en inglés), de cada batería del vehículo afecta al grado de degradación y a la cantidad de vehículos necesarios para cumplir con el nivel de potencia y los requisitos de duración de la reserva rápida firme.

Y dentro de cada análisis de sensibilidad, se muestra cómo el rendimiento energético (Ah), la tasa de descarga C_{RMS} , el DOD_{RMS} (%) y la degradación diaria de la batería (%), varían en función de las variables de sensibilidad mencionadas.

A continuación, se explican los resultados obtenidos para los diferentes casos de análisis:

1) Impactos en el caso base

Para el caso base, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 9 sobre la degradación de la batería sin V2G y con el uso de V2G como energía base y servicios auxiliares.

Vehicle characteristics	Powertrain		
	CV	PHEV	EV
Battery capacity (kW h)	-	9.7	28.6
Energy use (MJ km ⁻¹)	-	87.11	
<i>No V2G</i>			
Battery degradation ($\times 10^{-4}$ %)	-	6.0	6.0
Daily energy throughput (A h)	-	0.035	0.014
Battery lifetime (years)	-	91	91
C_{rms} ($\times 10^{-3}$)	-	2.8	5.5
DoD _{rms} (%)	-	0.08	0.04
<i>Bulk energy</i>			
Battery degradation ($\times 10^{-2}$ %)	-	64	69
Daily energy throughput (A h)	-	54.94	65.50
Battery lifetime (years)	-	1	1
C_{rms}	-	0.12	0.12
DoD _{rms} (%)	-	62.23	59.33
<i>Ancillary services</i>			
Battery degradation ($\times 10^{-2}$ %)	-	33	36
Daily energy throughput (A h)	-	10.32	12.70
Battery lifetime (years)	-	2	2
C_{rms}	-	0.052	0.053
DoD _{rms} (%)	-	27.99	27.86
Daily hours available (total)	-	0.58	0.58
- Time start	-	19:00	19:00

Tabla 9 Degradación de la batería para el caso base de estudio con y sin la participación de V2G. Fuente: [26]

La degradación diaria de la batería fue del 0.0006% sin el uso de V2G, simplemente por el servicio de conducción habitual para PHEV y EV. En cambio, la disminución de la capacidad de la batería fue sobre el 0.033% y 0.036% para PHEV y EV respectivamente brindando servicios auxiliares. Por otro lado, la disminución de capacidad aumenta hasta el 0.064% y 0.069% para PHEV y EV como energía base. Este desvanecimiento de la capacidad fue lineal en todos los casos y acortó la vida útil de la batería significativamente requiriendo un reemplazo de la misma cada año con su uso para energía base y, de 2 años, para su uso en servicios auxiliares.

2) Capacidad de la batería

Los resultados del análisis de sensibilidad de los costos operativos en la capacidad de la batería con la variación del rango de autonomía entre 10 km y 80 km para los PHEV y 100 km y 180 km para los EV se muestran en la Tabla 10 y Tabla 11, respectivamente. Del mismo modo, estos análisis se han realizado con y sin la participación de V2G en los servicios de energía base y auxiliares.

Análisis de riesgos y beneficios en la utilización de la tecnología V2G en generación distribuida

AER (km)	10	20	30	34	40	50	60	70	80	R ²
MJ · 100 km ⁻¹	107	87	84	84	84	85	86	87	88	-
Battery capacity (kW h)	2.9	5.7	8.6	9.7	11.5	14.3	17.2	20.0	22.9	-
No V2G										
Battery degradation (× 10 ⁻⁴ %)	7.0	7.0	6.0	5.0	5.0	4.0	4.0	4.0	4.0	0.91
Daily energy throughput (A h)	0.033	0.041	0.058	0.056	0.033	0.030	0.028	0.027	0.027	0.80
Battery lifetime (years)	108	108	126	110	151	189	189	189	189	-
C _{rms} (10 ⁻³)	62	31	20	18	15	13	11	9	8	0.81
DOD _{rms} (%)	0.25	0.15	0.090	0.080	0.060	0.040	0.030	0.030	0.030	0.85
Bulk energy										
Battery degradation (%)	0.036	0.052	0.061	0.064	0.068	0.073	0.075	0.073	0.070	1.00
Daily energy throughput (A h)	11.83	27.72	47.15	54.94	65.50	80.14	87.17	88.08	88.00	1.00
Battery lifetime (years)	2	1	1	1	1	1	1	1	1	-
C _{rms}	0.14	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.010	0.084	0.98
DOD _{rms} (%)	70.49	68.08	63.93	62.23	59.33	55.10	50.23	42.62	37.51	1.00
Ancillary services										
Battery degradation (%)	0.017	0.024	0.031	0.033	0.036	0.040	0.043	0.046	0.048	1.00
Daily energy throughput (A h)	3.04	6.08	9.11	10.32	12.74	18.13	23.82	29.95	36.61	1.00
Battery lifetime (years)	5	3	2	2	2	2	2	2	2	-
C _{rms}	0.052	0.052	0.052	0.052	0.052	0.051	0.049	0.048	0.047	0.00
DOD _{rms} (%)	28.16	28.06	28.00	27.99	27.52	26.89	26.13	25.42	24.77	0.96
Daily hours available (total)	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58	0.33	1.58	0.33	0.58	-
- Time start	19:00	19:00	19:00	19:00	19:00	19:00	19:00	20:00	20:00	-

Tabla 10 Degradación de la batería para el análisis de sensibilidad con la capacidad de la batería para los PHEV con y sin la participación de V2G. Fuente: [26]

Para los servicios de energía base, la degradación diaria máxima aumentaba con el tamaño de la batería, donde alcanzó un máximo para los 60 km de autonomía con una disminución de la capacidad del 0.075%; requiriendo un reemplazo de la batería de 1 año para todos los rangos con excepción de un rango de 10 km, que se realizaría cada 2 años.

En el caso del empleo para servicios auxiliares, la degradación de la batería es menor, en comparación con el servicio de energía base. Esto resultó en un aumento de la frecuencia de reemplazo de la batería, cada 5 años para 10 km de capacidad, cada 3 años para 20 km y cada 2 años para el resto, de 30 km a 80 km.

La degradación diaria mínima de la batería se produjo a la capacidad mínima de la batería tanto en la energía base como en los servicios auxiliares. De la misma manera, ocurre cuando el rendimiento energético es el más bajo, a pesar de la tasa C y DOD máxima, tanto para los servicios de energía base y auxiliares. En los que la degradación de la batería parece ser independiente de la tasa C y del DOD. Y que el rendimiento energético es el componente dominante en la degradación de la capacidad de la batería

AER (km)	100	110	120	130	140	150	160	170	180	R ²
MJ · 100 km ⁻¹	33	33	33	33	34	34	34	34	35	-
Battery capacity (kW h)	28.6	31.5	34.4	37.2	40.1	42.9	45.8	48.7	51.5	-
No V2G										
Battery degradation (× 10 ⁻⁴ %)	6.0	6.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	0.70
Daily energy throughput (A h)	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.014	0.98
Battery lifetime (years)	91	126	151	151	151	151	151	151	151	-
C _{rms} (10 ⁻³)	55	50	47	43	41	39	36	34	33	0.97
DOD _{rms} (%)	0.040	0.040	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.84
Bulk energy										
Battery degradation (%)	0.069	0.071	0.073	0.074	0.075	0.076	0.075	0.074	0.073	0.93
Daily energy throughput (A h)	65.50	72.06	77.79	82.20	85.36	87.16	87.99	88.09	88.06	0.97
Battery lifetime (years)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-
C _{rms}	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.095	0.96
DOD _{rms} (%)	59.33	57.42	55.61	54.08	52.10	50.23	46.88	43.95	41.54	0.99
Ancillary services										
Battery degradation (%)	0.036	0.037	0.039	0.040	0.042	0.043	0.044	0.045	0.046	1.00
Daily energy throughput (A h)	12.70	14.78	17.01	19.27	21.51	23.81	26.20	28.68	31.23	1.00
Battery lifetime (years)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-
C _{rms}	0.053	0.052	0.051	0.051	0.050	0.049	0.049	0.048	0.048	0.00
DOD _{rms} (%)	27.86	27.50	27.32	27.05	26.88	26.69	26.32	26.12	25.77	0.95
Daily hours available (total)	0.58	0.67	0.25	0.33	0.50	1.58	1.67	0.33	0.42	-
- Time start	19:00	19:00	19:00	19:00	19:00	19:00	19:00	20:00	20:00	-

Tabla 11 Degradación de la batería para el análisis de sensibilidad con la capacidad de la batería para los EV con y sin la participación de V2G. Fuente: [26]

En el caso de EV, los resultados que arroja sobre la degradación de la batería, muestran un comportamiento diferente con respecto a los PHEV.

Para servicios de energía base, el rango de degradación diaria de la batería fue entre 0.069% a 0.076%, correspondiendo el pico máximo al rango de 150 km. Sin embargo, el pequeño rango sugiere que la degradación de la batería fue independiente de la capacidad de la batería.

Para el uso de los EV como servicios auxiliares, la degradación de la batería fue por lo general menor respecto al servicio de energía base, aunque, esta degradación fue en incremento lineal con el aumento de la capacidad de la batería, pero el rango de degradación fue entre 0.036% a 0.046% lo que sugiere, también, que la degradación fuese independiente a la capacidad de la batería. Además, se observa que también es independiente de la tasa C y del DOD. Y, en este caso, no se observa la misma suposición de degradación de la batería con el rendimiento energético, como ocurría con los PHEV.

Para estos casos, se requiere el reemplazo de la batería de EV anualmente cuando se emplea para servicios de energía base y cada dos años para servicios auxiliares.

3) Régimen de carga

El análisis de sensibilidad de los costos operativos en la capacidad de la batería se realizó en función del comportamiento de carga: oportunista (1), solo en el hogar (2) y solo en el trabajo (3), tanto para PHEV como EV. Los resultados se muestran en la Tabla 12.

Charging regime	PHEV			EV		
	1	2	3	1	2	3
No V2G						
Battery degradation ($\times 10^{-4}\%$)	5.0	5.0	5.0	6.0	6.0	6.0
Daily energy throughput (A h)	0.036	0.036	0.036	0.014	0.014	0.014
Battery lifetime (years)	110	110	110	91	91	91
C _{rms} (10^{-3})	18	18	18	55	55	55
DOD _{rms} (%)	0.08	0.08	0.08	0.04	0.04	0.04
Bulk energy						
Battery degradation (%)	0.064	0.042	0.035	0.069	0.046	0.037
Daily energy throughput (A h)	54.94	42.37	29.67	65.50	49.55	35.20
Battery lifetime (years)	1	1	2	1	1	1
C _{rms}	0.12	0.061	0.069	0.12	0.061	0.071
DOD _{rms} (%)	62.23	41.88	27.53	59.33	40.37	25.97
Ancillary services						
Battery degradation (%)	0.033	0.024	0.019	0.036	0.027	0.021
Daily energy throughput (A h)	10.32	12.78	11.01	12.70	15.14	12.92
Battery lifetime (years)	2	2	3	2	2	3
C _{rms}	0.052	0.042	0.030	0.053	0.042	0.030
DOD _{rms} (%)	27.99	18.43	13.63	27.86	18.38	13.51
Daily hours available (total)	0.58	0.58	3.00	0.58	0.50	3.00
- Time start	19:00	19:00	08:30	19:00	19:00	08:30

Tabla 12 Degradación de la batería para el análisis de sensibilidad según el régimen de carga para PHEV y EV con y sin la participación de V2G. Fuente:[26]

La menor degradación diaria de la batería se consiguió en el trabajo y fue de 0.035% al proporcionar servicios de energía base y 0.020% con servicios auxiliares para los PHEV. Con estas tasas, el paquete de baterías se reemplazaría cada dos años para servicios de energía base y cada 3 años por servicios auxiliares.

Lo mismo ocurre para los EV, se alcanzó una menor degradación de la batería con la carga en el trabajo, siendo de 0.037% para servicios de energía base y de 0.021% para servicios

auxiliares. La frecuencia de reemplazo fue de un año para servicios de energía base y de 3 años para servicios auxiliares.

4) Profundidad de descarga, DOD

El análisis de sensibilidad del efecto del DOD de la batería de los vehículos, se evaluó para el servicio auxiliar de reserva rápida firme, con la capacidad de la flota necesaria para cumplir con los requisitos de nivel de potencia y duración. Los resultados para PHEV y EV se muestran en la Tabla 13 y Tabla 14, respectivamente.

% DOD for firm fast reserve	PHEV					R ²
	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	
<i>Ancillary services</i>						
Battery degradation (%)	0.023	0.033	0.041	0.055	0.066	1.00
Daily energy throughput (A h)	7.32	10.32	15.11	27.39	42.05	1.00
Battery lifetime (years)	2	2	1	1	1	-
C _{rms}	0.035	0.052	0.068	0.097	0.12	1.00
DOD _{rms} (%)	18.74	27.99	36.18	52.10	65.79	1.00
Daily hours available (total)	0.58	0.58	0.67	0.33	0.42	-
- Time start	19:00	19:00	19:00	20:00	20:00	-

Tabla 13 Degradación de la batería para el análisis de sensibilidad del efecto del DOD en los PHEV para garantizar un servicio auxiliar de reserva rápida firme. Fuente:[26]

% DOD for firm fast reserve	EV					R ²
	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	
<i>Ancillary services</i>						
Battery degradation (%)	0.027	0.036	0.04	0.058	0.070	0.99
Daily energy throughput (A h)	6.65	12.70	19.50	35.07	52.94	1.00
Battery lifetime (years)	3	2	2	1	1	-
C _{rms}	0.037	0.053	0.067	0.094	0.12	1.00
DOD _{rms} (%)	19.24	27.86	35.96	50.66	62.84	1.00
Daily hours available (total)	2.67	0.58	0.42	0.58	0.33	-
- Time start	19:00	19:00	19:00	20:00	20:00	-

Tabla 14 Degradación de la batería para el análisis de sensibilidad del efecto del DOD en los EV para garantizar un servicio auxiliar de reserva rápida firme. Fuente:[26]

Para estos casos, la profundidad de descarga varió del 20% al 80% de las baterías del vehículo. Generalmente, la degradación de las baterías, tanto en PHEV como EV, aumentó al aumentar DOD, siendo ligeramente superior en los EV, pero insignificante.

Como consecuencia, las frecuencias de reemplazo se sitúan, para los PHEV, cada 2 años entre el 20-30% y anualmente para más del 40%. En el caso de los EV, esta frecuencia de reemplazo aumentó de 3 años para 20% de DOD, a 2 años entre el 30-40% de DOD y anualmente para DOD mayores al 60%.

- **CONCLUSIONES DEL ESTUDIO**

Lo que podemos destacar de este estudio sobre el impacto del respaldo de energía base (se descargaban las baterías completamente durante el servicio V2G) y de servicios auxiliares en PHEV Y EV, es que estos servicios introducen un desgaste adicional en la batería de los vehículos y acelera la frecuencia en que deben ser reemplazadas.

Los efectos de la degradación de la batería se analizaron respecto a 3 factores técnicos de la tecnología V2G: Sobre la capacidad de las baterías (kWh), regímenes de carga (c) y la profundidad de descarga (DOD) de la batería. Resultando [26]:

1. La degradación de la batería PHEV fue más sensible a la capacidad de la batería tanto en la energía de energía base como en los servicios auxiliares.

2. La degradación de la batería de EV fue más sensible al régimen de carga de los servicios de energía de energía base y al DOD de la batería para los servicios auxiliares.

3. En consecuencia, la prestación de servicios de energía base condujo al reemplazo anual la batería en todos los regímenes de carga de EV y cuando el PHEV se cargó de manera oportunista o solo en casa.

4. Restringir la provisión de servicios de energía de energía base por el PHEV en el trabajo solo redujo la frecuencia de reemplazo de baterías a cada dos años.

5. La contratación de servicios de energía auxiliar solo redujo la energía a través de la batería y la frecuencia asociada de reemplazo de la batería. Se requería un reemplazo cada dos años para el PHEV y el EV cuando se cargaba de manera oportunista o solo en casa.

6. En la carga de V2G solo en el TRABAJO, la frecuencia de reemplazo redujo a más de una vez cada 3 años para ambos trenes motrices.

7. Sin embargo, el rendimiento energético aumentó cuando las baterías de los vehículos individuales se descargaron profundamente para proporcionar una reserva rápida y firme como parte de una flota.

8. La frecuencia de reemplazo de la batería del PHEV aumentó de 2 años para un 30% de DOD a anualmente para un mayor DOD.

9. La batería EV se reemplazaría cada 3 años con el DOD más bajo, aumentando hasta un 40% DOD cada dos años y anualmente a partir de entonces.

Por lo tanto, incluso en el mejor de los casos, la participación en ambos servicios complementarios de energía base acelera la degradación de la capacidad de la batería más allá de lo que se necesita para satisfacer las demandas de la conducción. Lo que representa un factor muy limitante en la adopción de este tipo de tecnología. En consecuencia, se puede esperar que un PHEV y un EV utilicen múltiples baterías durante su vida útil.

Los resultados de este análisis sugieren que probablemente los vehículos eléctricos no sean idóneos para su uso como energía base, pero sí podrían ser competitivos al proporcionar potencia máxima y servicios auxiliares.

PARTE 3 | ANÁLISIS DE RIESGOS DE V2G

8 INTRODUCCIÓN A LA EVALUACIÓN DE RIESGOS

La evaluación de riesgos es un paso imprescindible a la hora de realizar un proyecto. Se utiliza como método de evaluación cuantitativa del grado de riesgo de las causas que pueden afectar negativamente al desarrollo de dicho proyecto. Esto permite, posteriormente, facilitar la toma de decisiones y actuaciones a lo largo de la vida útil del proyecto.

Esta evaluación de riesgos forma parte de un proceso de gestión de riesgos, para el que se han propuesto diversos enfoques. Pero que, generalmente, el procedimiento presenta 4 fases:

1. Identificación de riesgos: Persigue la determinación de los riesgos que afectan a nuestro proyecto.

2. Evaluación del riesgo: Se clasifican los riesgos presentes para su posterior evaluación su impacto en el proyecto.

3. Respuesta al riesgo: Se barajan distintas opciones para mitigar los riesgos y reducir su impacto en los objetivos del proyecto.

4. Monitoreo y revisión de riesgos: Se presenta un plan de acciones ante los riesgos, se lleva a cabo un seguimiento de los mismos y se trata de identificar nuevos riesgos que puedan aparecer durante el proyecto.

Para llevar a cabo esta evaluación de riesgos, es necesario aplicar algún método de evaluación o de toma de decisiones. A continuación, se presenta la metodología que se utilizará para nuestro caso de estudio.

9 MÉTODO ANALÍTICO JERÁRQUICO DIFUSO (FAHP) (METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE RIESGOS)

Actualmente, la complejidad de los proyectos ha introducido variables no numéricas, incertidumbres y subjetividades, que dificultan el uso de metodologías clásicas que requerían la utilización de datos de alta calidad.

La teoría de conjuntos difusos (Zadeh, 1965), permite definir los datos en términos de lógica matemática para representar la vaguedad de los términos lingüísticos e imprecisiones del pensamiento humano que no pueden definirse de manera significativa con un valor único preciso.

Se propone un modelo de evaluación de riesgos basado en un razonamiento difuso y un enfoque AHP. El proceso de jerarquía analítica difusa (FAHP) se utiliza para estructurar y priorizar los riesgos teniendo en cuenta los parámetros influyentes en la obtención del factor de riesgo. Las descripciones de riesgos y sus consecuencias se definen utilizando variables lingüísticas que se transforman en números difusos trapezoidales. Una vez que los riesgos han sido identificados, son evaluados por términos lingüísticos. Las relaciones entre estos riesgos y los términos lingüísticos son proporcionadas por el conocimiento de un grupo de expertos en el caso.

Se puede afirmar que todos los métodos de evaluación de riesgos difusos propuestos tienen un procedimiento común:

1. Definición y medición de parámetros: Persigue la determinación de los riesgos que afectan a nuestro proyecto. Y la evaluación de estos según la probabilidad de riesgo y la

importancia del riesgo. Debido a la gran incertidumbre y complejidad de estos, se suelen convertir en datos en términos lingüísticos a los que se le asocia un número difuso.

2. Definición de inferencia difusa: se establecen relaciones entre los riesgos evaluados mediante reglas de la forma “si-entonces” o mediante reglas matemáticas con operadores difusos.

3. Desfuzzificación: Los resultados de la inferencia difusa, que están en la forma de un número difuso, se hace la conversión a un valor numérico para facilitar su representación e interpretación.

10 MODELO PROPUESTO PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS

El modelo utilizado para la evaluación de riesgos con carácter difuso, se basa en el propuesto por [27]. Este modelo consta de 3 fases: una fase preliminar, una fase de definición de la función del factor riesgo y medición de las variables y, por último, una fase de inferencia difusa (Figura 16).

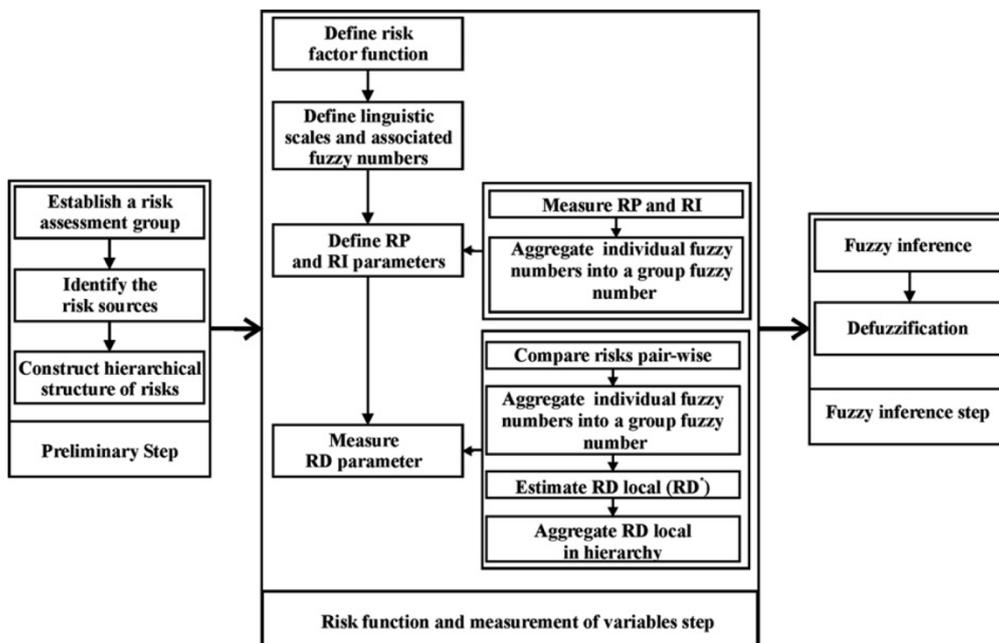


Figura 16 Fases del modelo de evaluación difusa. Fuente: [27]

A continuación, se describen en qué consisten cada una de las fases para poder aplicarlas a nuestro proyecto de integración de la tecnología V2G como generación distribuida.

1. Fase preliminar

1.1 Establecer un grupo de evaluación de riesgos

Se deben seleccionar un grupo de expertos que tengan un gran conocimiento y experiencia en las áreas relacionadas con el proyecto a evaluar. El propósito de los miembros del grupo consistirá en identificar los riesgos y medir los parámetros de la función de riesgo.

1.2 Identificar las fuentes de riesgo

Se realiza un análisis en profundidad de todos los aspectos contextuales al proyecto que podrían suponer un obstáculo, impedimento o dificultad en el desarrollo de dicho proyecto, teniendo en cuenta factores de riesgo que puedan aparecer durante el desarrollo del mismo. Este análisis es de gran importancia para el posterior análisis de riesgo y establecer adecuadamente las estrategias de respuesta.

1.3 Construcción de una estructura jerárquica de riesgos

El grupo de expertos establecido para la evaluación de riesgos debe identificar y clasificar los riesgos asociados con el proyecto. Para ello, se construye una estructura jerárquica de riesgos, con el fin de clasificar los riesgos y facilitar su evaluación.

Los riesgos se clasifican en grupos según los tipos de riesgos y se pueden establecer tantos grupos o subgrupos sean necesarios, siempre que guarden independencia entre grupos y muestren relación en el caso de los elementos del mismo grupo (Figura 17).

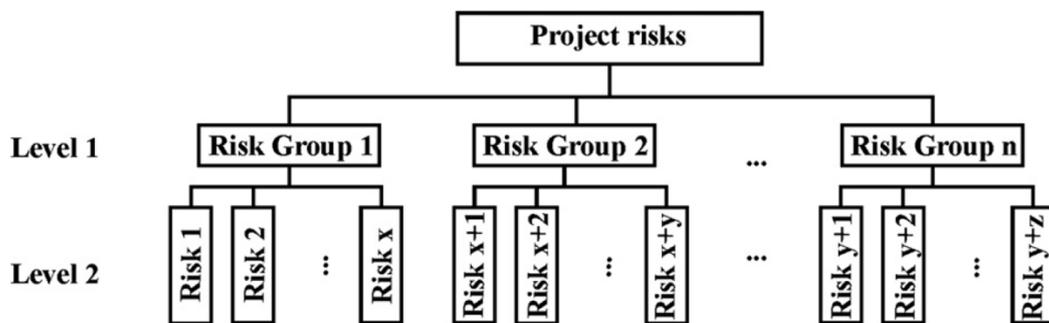


Figura 17 Estructura jerárquica de riesgos genérica. Fuente: [27]

2. Fase de definición de la función del factor de riesgo y medición de las variables

2.1 Definir la función del factor de riesgo

El factor de riesgo (RF, por sus siglas en inglés) se evalúa mediante dos parámetros de riesgo:

- El impacto de riesgo (RI): Evalúa el potencial de los riesgos en diversos aspectos del desarrollo de nuestro proyecto.
- La probabilidad de riesgo (RP): Que establece la probabilidad de que ocurra cada riesgo.

Adicionalmente, para alcanzar una evaluación de los riesgos de forma efectiva y eficiente, se propone el parámetro de discriminación de riesgos (RD), que mide el impacto del riesgo desde una perspectiva general del proyecto, en lugar de considerar cada riesgo como independiente.

Mediante esta evaluación de los riesgos, se le asigna un valor a cada riesgo empleando la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de riesgo general} = \frac{RI \cdot RP}{RD}$$

2.2 Definir escalas lingüísticas y números difusos asociados

En muchas ocasiones, la evaluación de riesgos se presenta compleja debido a la gran cantidad de incertidumbres que conciernen al proyecto. Estas incertidumbres vienen de fuentes como información no cuantificable, incompleta o a la que no se tiene acceso. Esto implica que las evaluaciones de los riesgos asociada a estos riesgos no se consideren aproximadas. Ante esto, los juicios del grupo de expertos para la evaluación de riesgos se expresan en términos lingüísticos en lugar de números reales.

Para ello, se deben definir estos términos lingüísticos, que se establecen en función de la naturaleza del problema. En la Tabla 15, se muestran los términos lingüísticos que se usarán para evaluar los parámetros de la evaluación de riesgos, como son el impacto de riesgo, la probabilidad de riesgo y la discriminación del riesgo.

Parámetro	Términos lingüísticos
Impacto de riesgo (RI)	Crítico (C)
	Grave (S)
	Moderado (Mo)
	Menor (Mi)
	Insignificante (N)
Probabilidad de riesgo (RP)	Alta probabilidad (H)
	Media probabilidad (M)
	Baja probabilidad (L)
Discriminación del riesgo (RD)	Mucho más (Mm)
	Más (M)
	Igual (S)
	Menos (L)
	Mucho más (MI)

Tabla 15 Términos lingüísticos asociados a los parámetros. Fuente: [27]

A partir de la definición de los riesgos mediante estos términos lingüísticos, se deben convertir estos en números difusos por medio de una escala de conversión apropiada, con el fin de poder representar estos conceptos vagos e imprecisos de los riesgos en un lenguaje comprensible.

Con interés de simplificar los cálculos, los números difusos trapezoidales o triangulares son más comunes en las aplicaciones actuales, porque la precisión de la forma de las funciones miembro no es importante y esto complicaría los cálculos. Por lo que, este método de representación trapezoidal permite definir estos números difusos con tan solo 4 parámetros.

En este modelo propuesto, se define un sistema de aproximación numérica para transformar los términos lingüísticos en sus números difusos respectivos, y que se puede ver en la Tabla 16.

Descripción de RI	Interpretación general	Número difuso
Crítico (C)	Implica impacto muy alto	(0.8, 0.9, 1, 1)
Grave (S)	Implica impacto alto	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)
Moderado (Mo)	Implica impacto moderado	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)
Menor (Mi)	Implica solo un pequeño impacto	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)
Insignificante (N)	No implica un impacto sustancial	(0, 0, 0.1, 0.2)
Descripción de RP	Interpretación general	Número difuso
Alta probabilidad (H)	Muy probable que ocurra	(0.7, 0.9, 1, 1)
Media probabilidad (M)	Probable que ocurra	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
Baja probabilidad (L)	Es poco probable que ocurra	(0, 0, 0.1, 0.2)
Descripción de RDC	Interpretación general	Número difuso
Mucho más (Mm)	Mucho más impacto global sobre el proyecto	(0, 0, 0, 0.3)
Más (M)	Más impacto global sobre el proyecto	(0, 0.25, 0.25, 0.5)
Igual (S)	Igual impacto global sobre el proyecto	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)
Menos (L)	Menos impacto global sobre el proyecto	(0.5, 0.75, 0.75, 1)
Mucho menos (MI)	Mucho menos impacto global sobre el proyecto	(0.7, 1, 1, 1)

Tabla 16 Descripciones de las comparaciones de RI, RP y RD y sus números difusos trapezoidales correspondientes. Fuente: [27]

2.3 Definir los parámetros RI y RP

2.3.1 Medida de RI y RP.

El grupo de expertos seleccionado debe definir cada riesgo del nivel inferior de la jerarquía utilizando las escalas lingüísticas definidas anteriormente. Con el sistema de conversión de las escalas lingüísticas descrito en la Tabla 16, obtenemos los números difusos de los juicios de los expertos. Los números difusos obtenidos para los parámetros RI y RP son RI_i^m y RP_i^m , donde ‘i’ es el número de riesgos en el nivel inferior de la jerarquía y ‘m’ es el número de expertos del grupo de evaluación de riesgos.

2.3.2 Agregar números difusos individuales dentro del grupo de números difusos

Cada número difuso individual RI_i^m y RP_i^m correspondiente a cada uno de los expertos, se agrupan en un número difuso de grupo usando el promedio aritmético difuso, que se define como:

$$RI_i = \frac{1}{m} \times \sum_{n=1}^m RI_i^n = \frac{1}{m} \times (RI_i^1 \oplus RI_i^2 \oplus \dots \oplus RI_i^m)$$

$$RP_i = \frac{1}{m} \times \sum_{n=1}^m RP_i^n = \frac{1}{m} \times (RP_i^1 \oplus RP_i^2 \oplus \dots \oplus RP_i^m)$$

donde ‘x’ es la multiplicación escalar de un número difuso trapezoidal, definido como:

$$\begin{aligned} k \times A &= (k \times a, k \times b, k \times c, k \times d) \quad \text{si } k > 0 \\ k \times A &= (k \times d, k \times c, k \times b, k \times a) \quad \text{si } k < 0 \end{aligned}$$

y ‘⊕’ es la suma difusa de dos números difusos trapezoidales que sigue la siguiente ley operacional:

$$A_1 \oplus A_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2, d_1 + d_2)$$

2.4 Medida del parámetro RD

2.4.1 Comparación de los riesgos por pares

El siguiente paso de los expertos del grupo de evaluación de riesgos es establecer comparaciones del impacto global sobre el proyecto de cada par de riesgos del mismo nivel que pertenecen al mismo grupo en la estructura jerárquica. Por lo que, para cada experto del grupo tendremos la siguiente matriz comparativa para el grupo ‘g’ y el nivel ‘l’ de la jerarquía:

$$A_{gl}^m = \begin{matrix} r_1 \\ r_2 \\ \dots \end{matrix} \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & \dots & r_n \\ - & (RDC)_{12}^m & \dots & (RDC)_{1n}^m \\ (RDC)_{21}^m & - & \dots & (RDC)_{2n}^m \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (RDC)_1^n & (RDC)_1^n & \dots & - \end{bmatrix}$$

donde ‘n’ es el número de riesgos del grupo ‘g’ y el nivel ‘l’ en la jerarquía.

2.4.2 Agregar números difusos individuales dentro del grupo de números difusos

Estos números difusos comparativos obtenidos del juicio de los expertos en el paso previo, se agrupan en un número difuso de grupo usando el promedio aritmético difuso definido como:

$$RDC_{ij} = \frac{1}{m} \times \sum_{n=1}^m RDC_{ij}^n = \frac{1}{m} \times (RDC_{ij}^1 \oplus RDC_{ij}^2 \oplus \dots \oplus RDC_{ij}^m)$$

donde ‘i’ y ‘j’ son los riesgos del grupo ‘g’ del nivel 1 en la jerarquía y ‘m’ es el número de expertos del grupo de evaluación, ‘x’ es la multiplicación escalar de un número difuso trapezoidal y ‘⊕’ es la suma difusa de dos números difusos trapezoidales que han sido definidos anteriormente.

La matriz de la comparación de los números difusos por pares para el grupo ‘g’ del nivel ‘l’ en la jerarquía se define como:

$$A_{gl} = \begin{matrix} r_1 \\ r_2 \\ \dots \end{matrix} \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & \dots & r_n \\ - & (RDC)_{12} & \dots & (RDC)_{1n} \\ (RDC)_{21} & - & \dots & (RDC)_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (RDC)_{n1} & (RDC)_{2n} & \dots & - \end{bmatrix}$$

donde ‘n’ es el número de riesgos del grupo ‘g’ del nivel ‘l’ en la jerarquía.

2.4.3 Estimar RD local (RD*) o peso local

El siguiente paso, es calcular el peso individual que representa cada riesgo en el conjunto del problema. Este es un paso previo que nos permitirá más adelante hacer la comparación entre todos los riesgos.

El cálculo de los pesos individuales mediante el método difuso clásico se adapta para operar con números difusos trapezoidales, para simplificar el proceso de cálculo. Anteriormente, el experto establece unas relaciones de preferencia difusas en criterios por pares, $W_{ij} = RDC_{ij}$. Estas relaciones se definen como un singleton difuso que denotan la preferencia del criterio c_i sobre el criterio c_j .

Para eliminar la incoherencia entre las valoraciones binarias de cada grupo, matemáticamente, esta coherencia se puede medir por la transitividad. Esta transitividad puede ser de diferentes grados. En este caso se aplica una transitividad débil, la mínima exigible, y se aplica en ternas de criterios, es decir, por grupos de tres.

Esta transitividad débil se puede expresar para 3 pares de valoraciones entre criterios como:

$$\left. \begin{array}{l} W_{ij} \geq s_0 \\ W_{jk} \geq s_0 \end{array} \right\} \Rightarrow W_{ik} \geq s_0$$

Siendo s_0 el término que expresa indiferencia (“igual de importante que”) en las comparaciones binarias de preferencia entre criterios expresados en términos lingüísticos.

Se define la expresión que estima la comparación binaria entre los criterios ‘i’ y ‘j’ y que mantiene la consistencia.

$$W'_{ij} = \frac{w_i + (1 - w_j)}{2}$$

Los valores w_i y w_j se calculan por el método de minimización de diferencias del valor W_{ij} , que es obtenido directamente de los expertos, y W'_{ij} , se define como una relación de preferencia difusa ideal que es consistente:

$$\min \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (W'_{ij} - W_{ij})^2 \right]$$

El objetivo es obtener los valores de w_i , w_j y w_k que haga mínima la diferencia entre W'_{ij} y W_{ij} dentro de cada grupo formado en la jerarquía.

Adaptando este procedimiento del método clásico al cálculo con números difusos trapezoidales, nosotros tenemos los valores de las comparaciones de preferencia difusa entre los riesgos que son definidas por el grupo de expertos, RDC_{ij} , y los valores de las comparaciones de

preferencia difusa ideales sobre los riesgos, RDC'_{ij} . Por lo que, la expresión del método clásico al método difuso se define ahora como:

$$\min \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (RDC'_{ij} \ominus RDC_{ij})^2 \right]$$

donde RDC'_{ij} se define con los términos RD^*_i y RD^*_j , que reflejan los pesos locales de cada uno de los riesgos r_i y r_j , y se expresa como:

$$RDC'_{ij} = \frac{RD^*_i \oplus (1 \ominus RD^*_j)}{2}$$

con 'i' y 'j' los riesgos del grupo 'g' del nivel 'l' en la jerarquía, \oplus es la suma difusa de números difusos trapezoidales y \ominus es la resta difusa de números trapezoidales que se define como:

$$A_1 \ominus A_2 = (a_1 - d_2, b_1 - c_2, c_1 - b_2, d_1 - a_2)$$

El objetivo es el mismo que si aplicáramos el método clásico, obtener los valores de RD^*_i , RD^*_j y RD^*_k que haga mínima la diferencia entre RDC'_{ij} y RDC_{ij} dentro de cada grupo formado en la jerarquía.

Para simplificar los cálculos, ya que trabajar con el triángulo que definen los números difusos se hace más complejo, se utiliza únicamente el valor central del número difuso trapezoidal. Luego, la amplitud de la base del número difuso correspondiente a los pesos se asigna en función de la amplitud de las valoraciones binarias.

La suma de los RD^*_i de cada grupo debería ser un número trapezoidal con valor aproximadamente de la unidad. Para cada grupo 'g' y nivel de la jerarquía, los valores difusos RD^* se definen como:

$$B_{gl} = \begin{matrix} r_1 \\ r_2 \\ \dots \\ r_n \end{matrix} \begin{bmatrix} RD^*_1 \\ RD^*_2 \\ \dots \\ RD^*_n \end{bmatrix}$$

con 'n' el número de riesgos del grupo 'g' del nivel 'l' en la jerarquía.

2.4.4 Agregar RD^* en la jerarquía

A continuación, se tiene que obtener el peso global RD_i . Asumiendo que el riesgo r_i tiene 't' grupos superiores en diferentes niveles en la estructura jerárquica y que $RD^{*(j)}$ es el valor RD^* del grupo superior 't' que contiene al riesgo r_i de la jerarquía, el valor final de RD para cada riesgo r_i , se calcula como el producto de todos los pesos locales que figuran en cada línea del árbol, que define la estructura jerárquica.

$$RD_i = RD^*_i \otimes \prod_{j=1}^t (RD^*)^{(j)}_{group}$$

donde 'i' es cada uno de los riesgos del nivel inferior de la jerarquía y \otimes es la multiplicación difusa que se define como:

$$A \otimes B = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} \alpha_{(A \times B)}^\alpha(x)$$

Estos valores de los pesos globales hay que normalizarlos para que la suma de los pesos sea la unidad.

3. Fase de inferencia difusa

En este paso, se convierte el número difuso agregado de RI, RP y RD en un número difuso que representa el factor de riesgo general de cada riesgo r_i .

3.1 Inferencia difusa

Obtenidos los parámetros RI, RP y RD como números difusos trapezoidales, el factor de riesgo general se calcula como:

$$ORF_i = (RI_i \otimes RP_i) \oslash RD_i$$

donde 'i' es cada uno de los riesgos del nivel inferior en la jerarquía y \oslash representa la división difusa que tiene por expresión:

$$A \oslash B = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} \alpha_{(A/B)}^\alpha(x)$$

3.2 Desfuzzificación

La desfuzzificación de los números difusos es el paso final para la evaluación de riesgos de un entorno difuso. Consiste en obtener un número no difuso adecuado del número difuso del factor de riesgo general ORF. El cálculo de este valor se realiza mediante el método del centroide (Yager, 1980), que se define como:

$$(ORF_T)_i = \frac{\int_0^1 x ORF_i(x) (dx)}{\int_0^1 ORF_i(x) (dx)}$$

donde 'i' es cada uno de los riesgos en el nivel inferior en la jerarquía.

Finalmente, el resultado de este procedimiento para la evaluación de riesgo difuso es una calificación del riesgo final.

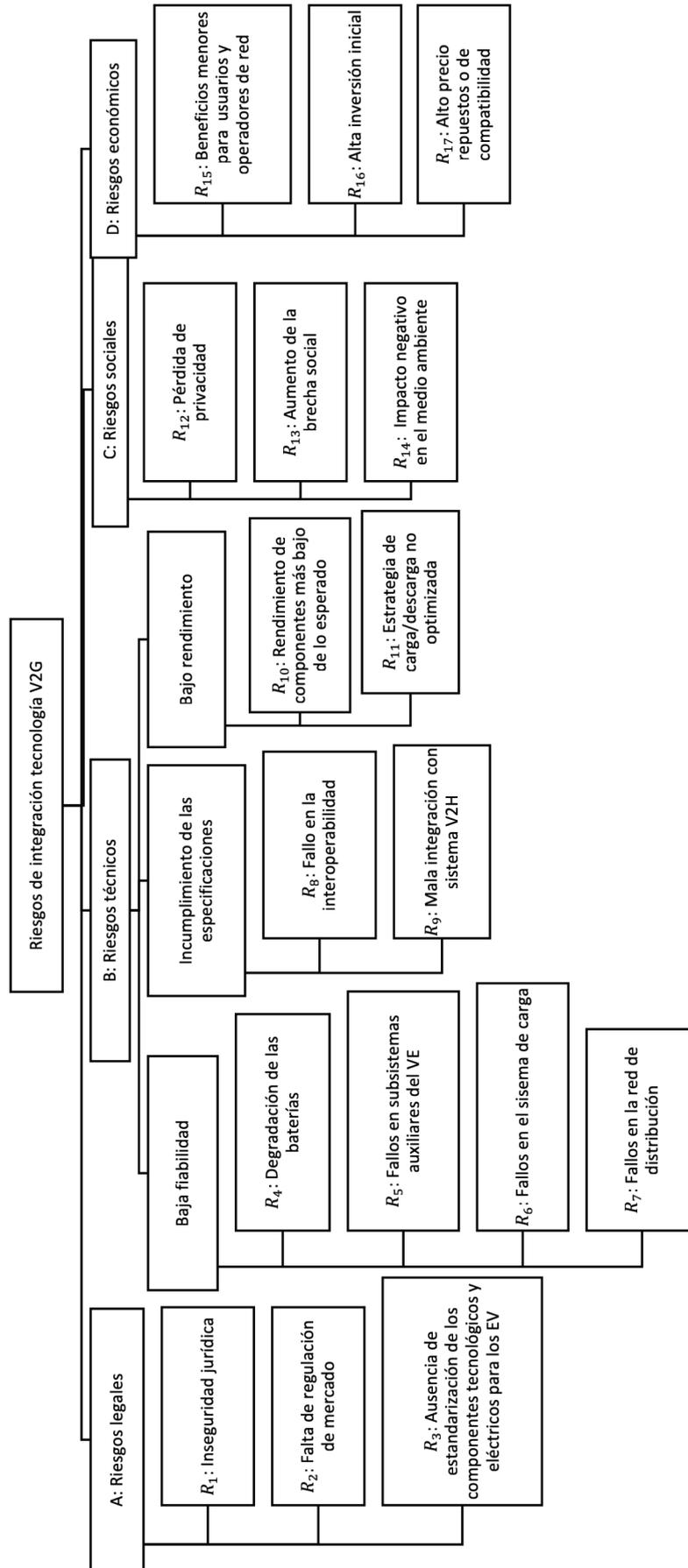
11 CASO DE ESTUDIO: EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS DE LA INTEGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA V2G

En mi caso de estudio, se va a establecer un ranking ponderado de los riesgos y beneficios que implica la integración de la tecnología vehículo a red (V2G). La evaluación de los riesgos será realizada bajo mi propio criterio y todo el conocimiento adquirido de la labor de investigación, consultas bibliográficas y conocimiento propio acerca de esta tecnología y los impactos potenciales de integración de la misma, que se han ido desarrollando a lo largo de este trabajo.

11.1 Identificar las fuentes de riesgo y construir una estructura jerárquica de riesgos.

En base a todos los conocimientos adquiridos, la estructura jerárquica de riesgos establecida se muestra en la Figura 18.

Figura 18 Estructura jerárquica de riesgos. Fuente: Elaboración propia.



Análisis de riesgos y beneficios en la utilización de la tecnología V2G en generación distribuida

La estructura jerárquica de riesgos de integración de V2G (nivel 0) consta de 4 grupos de riesgo (nivel 1): legales, técnicos, sociales y económicos. Se han establecido estos 4 tipos de principales grupos como representación de los distintos ámbitos que se verían afectados en un proyecto con la participación de V2G.

El primero de los grupos, riesgos legales (A), recoge los riesgos relacionados con la legislación que afectan a nuestro proyecto. Puede ser entendido como el conjunto de normas jurídicas que de no ser válidas o no cumplirse podría afectar a los contratos financieros o a la imposibilidad de exigir el cumplimiento del contrato legalmente ocasionando sanciones económicas, trabas e incluso la interrupción de nuestro proyecto.

Cada uno de los riesgos identificados para el grupo de riesgos legales de la estructura jerárquica que podría afectar a nuestro proyecto de integración de V2G se describe en la Tabla 17.

Riesgos legales	Descripción
R1: Inseguridad jurídica	No existe un marco legal estable al cual atenerse que nos proteja de cambios en la legislación, leyes difusas o mal comprendidas. La arbitrariedad e inestabilidad de las normas fiscales plantean problemas a medio-largo plazo en nuestro proyecto, entorpeciendo las decisiones, inversiones y el crecimiento económico del mismo.
R2: Falta de regulación de mercado	Al ser una tecnología en una fase de desarrollo y prueba en proyectos piloto, no existe ninguna figura, o participante, que intervengan en el Mercado Eléctrico y provea los servicios para los que ha sido diseñado la tecnología V2G a gran escala. La falta de agentes puede provocar que la tecnología no funcione de manera eficiente, con calidad, con seguridad y de manera continua. Por ejemplo, no existe un agente en el sistema eléctrico que se encargue de hacer funcionar y mantener las centrales de almacenamiento para la energía eléctrica.
R3: Ausencia de estandarización de los componentes tecnológicos y eléctricos para los EV	La elementos tecnológicos y eléctricos que integran V2G carecen de normas tecnológicas que nos permitan una fácil elección de los mismo y que nos garanticen un correcto funcionamiento, fiabilidad y seguridad.

Tabla 17 Descripción de los riesgos legales de la integración de la tecnología V2G. Fuente: Elaboración propia.

En el grupo de los riesgos técnicos (B), se han agrupado los riesgos en 3 subgrupos (nivel 2), los riesgos que repercuten en provocar una baja fiabilidad del sistema debido a la disponibilidad u optimización, por madurez de la tecnología y fallos imprevistos por factores no considerados que dan lugar a una pérdida en el rendimiento. En la Tabla 18 se identifican y describen los riesgos técnicos derivados de la integración de V2G.

Riesgos técnicos	Descripción
Baja fiabilidad R4: Degradación de las baterías	Cuando las baterías se emplean para satisfacer los servicios que ofrece V2G se produce un desgaste extra que acorta la vida útil de estas. Otros factores como la carga y descarga descoordinada del vehículo, los valores de los parámetros de carga/descarga y una baja calidad de suministro de la red contribuyen a incrementar el

		desgaste de las baterías. Todo esto conduce a reemplazos más frecuentes y a nuevas inversiones.
	R5: Fallos en subsistemas auxiliares del VE	Los distintos elementos del vehículo eléctrico que componen el sistema eléctrico y de conexión con la estación de carga V2G son afectados también por el uso continuo de esta tecnología y puede verse alterado su comportamiento y su vida útil.
	R6: Fallos en el sistema de carga	<p>No se dispone de una estandarización para el cargador para la tecnología V2G, sino que, los diferentes fabricantes de vehículos han optado por desarrollar su propio estándar. Situación que frenaría el acceso universal a cualquier cargador en cualquier lugar por la incompatibilidad de la conexión y los vehículos, haciendo al sistema de conexión un factor decisivo a la hora de adquirir un EV.</p> <p>Un mal funcionamiento puede llegar a tener efectos como: fallo en la comunicación entre el vehículo y la red, que no se garantice el suministro, que se vean comprometidos los elementos del sistema eléctrico del vehículo o que no realice correctamente la estrategia de carga/descarga para maximizar los beneficios y provocar pérdidas en la red adicionales y sobrecargar transformadores y líneas.</p>
	R7: Fallos en la red de distribución	Dependiendo de la penetración de los vehículos eléctricos con tecnología V2G, esto puede provocar la sobrecarga de los equipos de distribución, aumentando las pérdidas, desviaciones de voltaje y demanda pico, requiriendo capacidades mayores de transformación.
Incumplimiento de las especificaciones	R8: Fallos en la interoperabilidad	Se pueden producir fallos en la comunicación e intercambio de datos arriba que pueden provocar fallos en el suministro de energía por una mala lectura, pérdida de datos de la energía que estamos cediendo al sistema y no recibir la compensación correcta y puede provocar que nuestro vehículo no participe en la prestación de servicios auxiliares
	R9: Mala integración con sistemas V2H	Del problema de la estandarización del cargador para V2G se deriva, el problema que podría surgir por incompatibilidades entre la instalación de carga, el tipo de conexión del vehículo y nuestra instalación doméstica.
Bajo rendimiento	R10: Rendimiento de componentes más bajo de lo esperado	<p>Todavía no están optimizados los procesos de conversión y transferencia de energía, lo cual supone mayores pérdidas en los componentes y, como consecuencia, una bajo rendimiento por el uso ineficaz del aprovechamiento de los recursos.</p> <p>Además, hábitos de conducción inadecuados afectarán negativamente al funcionamiento y rendimiento de V2G.</p>

	R ₁₁ : Estrategia de carga/descarga optimizada de no	Actualmente, no se dispone de una estrategia definida que garantice el correcto funcionamiento de la tecnología para los distintos servicios que ofrece, obteniéndose resultados muy diversos para diferentes configuraciones.
--	---	--

Tabla 18 Descripción de los riesgos técnicos de la integración de la tecnología V2G. Fuente: Elaboración propia.

En el tercer grupo tenemos los riesgos sociales (C) asociados con los riesgos que puedan crean condiciones desfavorables, o presenten una amenaza, que afecten al bienestar social, al desarrollo sostenible o al progreso del proyecto. Así mismo, se añade el impacto que puedan tener los distintos factores del proyecto sobre el medio ambiente. En la Tabla 19 se identifican y describen los riesgos sociales que supone la integración de V2G.

Riesgos sociales	Descripción
R ₁₂ : Pérdida de privacidad	Esta tecnología introduce una nueva amenaza de seguridad en la comunicación entre el operador de red y las comercializadoras y el vehículo eléctrico, esto implica el manejo y el acceso continuo e intensivo a datos de nuestro vehículo, pudiendo producirse acceso a información sensible o un ataque malicioso que provoque daños en el vehículo.
R ₁₃ : Aumento de la brecha social	La tecnología V2G requiere ciertos requisitos para su implementación, como un diseño y construcción de las casas de usuarios con una posición social e ingresos media, con lo que la integración de V2G puede ampliar esta diferencia social entre la población, agrandando la diferencia de calidad de vida entre los que tienen acceso a V2G y los que no.
R ₁₄ : Impacto negativo en el medio ambiente	La degradación extra de las baterías provoca que aumente la frecuencia de reemplazo de las estas. La mayoría de las baterías son ion-litio y no se han desarrollado técnicas adecuadas para su reciclaje, además de que no se dispone de una gestión adecuada de reciclaje de estas baterías.

Tabla 19 Descripción de los riesgos sociales de la integración de la tecnología V2G. Fuente: Elaboración propia.

En el último grupo tenemos los riesgos económicos (D) que están relacionados con el rendimiento de la inversión en el proyecto y la incertidumbre por cambios económicos en el sector como: aparición de nuevos competidores, cambios en la política de la empresa o variación de la demanda o servicios que pueden llevar a no alcanzar los objetivos económicos esperados. En la Tabla 20 se describen los riesgos económicos que supondrían la integración de V2G.

Riesgos económicos	Descripción
R ₁₅ : Beneficios menores para usuarios y operadores de red	Solo se dispone de resultados simulados del uso de V2G y de proyectos piloto limitados a cierto comportamiento. Basarse en esta información puede provocar que los ahorros económicos reales del uso de esta tecnología no sean tan atractivos y rentables como eran de esperar.
R ₁₆ : Alta inversión inicial	La integración de esta tecnología conlleva elevadas inversiones financieras debido a la construcción de una importante cantidad de infraestructura de soporte para esta tecnología.

R17: Alto precio repuestos o de compatibilidad	El uso de la tecnología V2G provoca un uso adicional para los componentes que intervienen en esta tecnología. Como consecuencia, aumenta la aceleración de desgaste de sus componentes (vehículo, estación de carga, red, etc.) que hace que se tengan que sustituir estos anticipadamente y reinvertir.
--	--

Tabla 20 Descripción de los riesgos económicos de la integración de la tecnología V2G. Fuente: Elaboración propia.

11.2 Definición de los parámetros RI y RP y agregación difusa

Para cada uno de los riesgos indicados en la estructura de riesgos, voy a evaluarlos bajo mi criterio en términos de riesgo de impacto y riesgo de probabilidad usando las escalas lingüísticas definidas anteriormente, al que le corresponde un número difuso respectivamente. Como solo voy a tomar mi juicio para establecer las relaciones entre los riesgos y las escalas lingüísticas, los números difusos grupales serán directamente los propios números difusos individuales.

A continuación, se muestran las tablas con la valoración lingüística para cada riesgo de los diferentes grupos de los riesgos de integración de la tecnología V2G.

Grupo A: Riesgos legales	Riesgo de impacto (RI)		Riesgo de probabilidad (RP)	
	Valoración de RI	Número difuso	Valoración de RP	Número difuso
R ₁ : Inseguridad jurídica	Menor (Mi)	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	Media probabilidad (M)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
R ₂ : Falta de regulación de mercado	Moderado (Mo)	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	Media probabilidad (M)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
R ₃ : Ausencia de estandarización de los componentes tecnológicos y eléctricos para los EV	Menor (Mi)	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	Baja probabilidad (L)	(0, 0, 0.1, 0.2)

Tabla 21 Valoración lingüística de los parámetros RI y RP de los riesgos asociados al grupo de riesgos legales. Fuente: Elaboración propia

Grupo B: Riesgos técnicos	Riesgo de impacto (RI)		Riesgo de probabilidad (RP)	
	Valoración de RI	Número difuso	Valoración de RP	Número difuso
R ₄ : Degradación de las baterías	Crítico (C)	(0.8, 0.9, 1, 1)	Alta probabilidad (H)	(0.7, 0.9, 1, 1)
R ₅ : Fallos en subsistemas auxiliares del VE	Moderado (Mo)	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	Media probabilidad (M)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
R ₆ : Fallos en el sistema de carga	Grave (S)	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	Alta probabilidad (H)	(0.7, 0.9, 1, 1)

R7: Fallos en la red de distribución	Moderado (Mo)	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	Media probabilidad (M)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
R8: Fallos en la interoperabilidad	Menor (Mi)	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	Baja probabilidad (L)	(0, 0, 0.1, 0.2)
R9: Mala integración con sistemas V2H	Menor (Mi)	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	Baja probabilidad (L)	(0, 0, 0.1, 0.2)
R10: Rendimiento de componentes más bajo de lo esperado	Moderado (Mo)	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	Baja probabilidad (L)	(0, 0, 0.1, 0.2)
R11: Estrategia de carga no optimizada	Grave (S)	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	Media probabilidad (M)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)

Tabla 22 Valoración lingüística de los parámetros RI y RP de los riesgos asociados al grupo de riesgos técnicos. Fuente: Elaboración propia

Grupo C: Riesgos sociales	Riesgo de impacto (RI)		Riesgo de probabilidad (RP)	
	Valoración de RI	Número difuso	Valoración de RP	Número difuso
R12: Pérdida de privacidad	Crítico (S)	(0.8, 0.9, 1, 1)	Media probabilidad (M)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
R13: Aumento de la brecha social	Menor (Mi)	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	Media probabilidad (M)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
R14: Impacto negativo en el medio ambiente	Moderado (Mo)	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	Media probabilidad (M)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)

Tabla 23 Valoración lingüística de los parámetros RI y RP de los riesgos asociados al grupo de riesgos sociales. Fuente: Elaboración propia

Grupo D: Riesgos económicos	Riesgo de impacto (RI)		Riesgo de probabilidad (RP)	
	Valoración de RI	Número difuso	Valoración de RP	Número difuso
R15: Beneficios menores para usuarios y operadores de red	Grave (S)	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	Media probabilidad (M)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
R16: Alta inversión inicial	Moderado (Mo)	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	Alta probabilidad (H)	(0.7, 0.9, 1, 1)
R17: Alto precio repuestos o de compatibilidad	Menor (Mi)	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	Baja probabilidad (L)	(0, 0, 0.1, 0.2)

Tabla 24 Valoración lingüística de los parámetros RI y RP de los riesgos asociados al grupo de riesgos económicos. Fuente: Elaboración propia

11.3 Medida del parámetro RD mediante comparaciones por pares de los factores de riesgo de cada grupo.

Para la obtención del parámetro de discriminación de riesgo (RD), voy a valorar el impacto general sobre el proyecto de cada par de riesgos de cada grupo y nivel definido en la estructura jerárquica de riesgos. Del mismo modo que con los parámetros RI y RP, al solo contar con mi juicio para establecer las valoraciones, los números difusos individuales serán los números difusos grupales. En las tablas siguientes, se muestran las comparaciones en términos lingüísticos y sus números difusos respectivos para cada par de riesgos.

La comparación por pares de los grupos de los riesgos de integración de la tecnología V2G se muestran en la Tabla 25 :

Riesgos integración V2G	G ₁ : Riesgos legales	G ₂ : Riesgos técnicos	G ₃ : Riesgos sociales	G ₄ : Riesgos económicos
G ₁ : Riesgos legales	.....	Menos (L)	Más (M)	Menos (L)
		(0.5, 0.75, 0.75, 1)	(0, 0.25, 0.25, 0.5)	(0.5, 0.75, 0.75, 1)
G ₂ : Riesgos técnicos	Más (M)	.....	Mucho más (Mm)	Más (M)
	(0, 0.25, 0.25, 0.5)		(0, 0, 0, 0.3)	(0, 0.25, 0.25, 0.5)
G ₃ : Riesgos sociales	Menos (L)	Mucho menos (Ml)	.....	Menos (L)
	(0.5, 0.75, 0.75, 1)	(0.7, 1, 1, 1)		(0.5, 0.75, 0.75, 1)
G ₄ : Riesgos económicos	Más (M)	Menos (L)	Más (M)	.....
	(0, 0.25, 0.25, 0.5)	(0.5, 0.75, 0.75, 1)	(0, 0.25, 0.25, 0.5)	

Tabla 25 Medida de RD por comparación por pares de los grupos de riesgos de la integración de la tecnología V2G. Fuente: Elaboración propia

En la comparación por pares de riesgos legales he considerado el riesgo debido a la inseguridad jurídica como el que el más impacto global sobre el proyecto puede ocasionar en comparación con los demás riesgos por comprometer la viabilidad del proyecto.

Grupo A: Riesgos legales	R ₁ : Inseguridad jurídica	R ₂ : Falta de regulación de mercado	R ₃ : Ausencia de estandarización de los componentes tecnológicos y eléctricos para los EV
R ₁ : Inseguridad jurídica	.....	Más (M)	Mucho más (Mm)
		(0, 0.25, 0.25, 0.5)	(0, 0, 0, 0.3)
R ₂ : Falta de regulación de mercado	Menos (L)	.....	Más (M)
	(0.5, 0.75, 0.75, 1)		(0, 0.25, 0.25, 0.5)

R3: Ausencia de estandarización de los componentes tecnológicos y eléctricos para los EV	Mucho menos (MI)	Menos (L)
	(0.7, 1, 1, 1)	(0.5, 0.75, 0.75, 1)	

Tabla 26 Medida de RD por comparación por pares de los riesgos asociados al grupo de riesgos

Dentro del grupo de riesgos técnicos tenemos 3 subgrupos diferentes, la comparación por pares entre estos subgrupos se muestran en la Tabla 27:

Subgrupos de riesgos técnicos	SG1: Baja fiabilidad	SG2: Incumplimiento de las especificaciones	SG3: Bajo rendimiento
SG1: Baja fiabilidad	.....	Más (M)	Más (M)
		(0, 0.25, 0.25, 0.5)	(0, 0.25, 0.25, 0.5)
SG2: Incumplimiento de las especificaciones	Menos (L)	.....	Igual (S)
	(0.5, 0.75, 0.75, 1)		(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)
SG3: Bajo rendimiento	Menos (L)	Igual (S)	.....
	(0.5, 0.75, 0.75, 1)	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	

Tabla 27 Medida de RD por comparación por pares de los subgrupos de riesgos técnicos. Fuente: Elaboración propia

En la comparación por pares dentro del grupo de riesgos técnico, en el subgrupo de baja fiabilidad (Tabla 28), le he dado más importancia a la degradación de las baterías como el que más impacto supone en el proyecto de los riesgos que ocasionan una baja fiabilidad.

Grupo B: Riesgos técnicos (Baja fiabilidad)	R4: Degradación de las baterías	R5: Fallos en subsistemas auxiliares del VE	R6: Fallos en el sistema de carga	R7: Fallos en la red de distribución
R4: Degradación de las baterías	.....	Mucho más (Mm)	Igual (S)	Más (M)
		(0, 0, 0, 0.3)	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0, 0.25, 0.25, 0.5)
R5: Fallos en subsistemas auxiliares del VE	Mucho menos (MI)	.....	Mucho menos (MI)	Menos (L)
	(0.7, 1, 1, 1)		(0.7, 1, 1, 1)	(0.5, 0.75, 0.75, 1)
R6: Fallos en el sistema de carga	Igual (S)	Mucho más (Mm)	.....	Más (M)
	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0, 0, 0, 0.3)		(0, 0.25, 0.25, 0.5)

R7: Fallos en la red de distribución	Menos (L)	Más (M)	Menos (L)
	(0.5, 0.75, 0.75, 1)	(0, 0.25, 0.25, 0.5)	(0.5, 0.75, 0.75, 1)	

Tabla 28 Medida de RD por comparación por pares de los riesgos asociados al grupo de riesgos técnicos y subgrupo de baja fiabilidad. Fuente: Elaboración propia

Del subgrupo de riesgos del incumplimiento de las especificaciones, he considerado que los fallos en la interoperabilidad tienen mayor impacto global sobre el proyecto que si hay problemas en la integración de V2G con los sistemas con tecnología V2H.

Grupo B: Riesgos técnicos (Incumplimiento de las especificaciones)	R8: Fallos en la interoperabilidad	R9: Mala integración con sistemas V2H
R8: Fallos en la interoperabilidad	.....	Más (M) (0, 0.25, 0.25, 0.5)
R9: Mala integración con sistemas V2H	Menos (L) (0.5, 0.75, 0.75, 1)	.....

Tabla 29 Medida de RD por comparación por pares de los riesgos asociados al grupo de riesgos técnicos y subgrupo de incumplimiento de las especificaciones. Fuente: Elaboración propia

Para el subgrupo riesgos que suponen un bajo rendimiento, creo que no optimizar la estrategia de carga/descarga puede suponer mucho más impacto global que si los rendimientos de los componentes son más bajos porque de esta operación de carga/descarga dependerá la calidad de los servicios y la maximización de los beneficios totales de su uso.

Grupo B: Riesgos técnicos (Bajo rendimiento)	R10: Rendimiento de componentes más bajo de lo esperado	R11: Estrategia de carga no optimizada
R10: Rendimiento de componentes más bajo de lo esperado	.....	Mucho menos (Ml) (0.7, 1, 1, 1)
R11: Estrategia de carga/descarga no optimizada	Mucho más (Mm) (0, 0, 0, 0.3)	.....

Tabla 30 Medida de RD por comparación por pares de los riesgos asociados al grupo de riesgos técnicos y subgrupo de bajo rendimiento. Fuente: Elaboración propia

De la comparación por pares de los riesgos sociales, he priorizado la pérdida de privacidad como el riesgo que más impacto global supone en el proyecto sobre los otros porque

la cantidad de información sensible vulnerable y los daños irreparables que se pueden producir en el vehículo.

Grupo C: Riesgos sociales	R ₁₂ : Pérdida de privacidad	R ₁₃ : Aumento de la brecha social	R ₁₄ : Impacto negativo en el medio ambiente
R ₁₂ : Pérdida de privacidad	.....	Mucho más (Mm) (0, 0, 0, 0.3)	Más (M) (0, 0.25, 0.25, 0.5)
R ₁₃ : Aumento de la brecha social	Mucho menos (MI) (0.7, 1, 1, 1)	.....	Menos (L) (0.5, 0.75, 0.75, 1)
R ₁₄ : Impacto negativo en el medio ambiente	Menos (L) (0.5, 0.75, 0.75, 1)	Más (M) (0, 0.25, 0.25, 0.5)	.....

Tabla 31 Medida de RD por comparación por pares de los riesgos asociados al grupo de riesgos sociales. Fuente: Elaboración propia

De la comparación por pares de los riesgos del grupo de riesgos económicos, pienso que percibir unos beneficios reducidos por el uso de V2G para usuarios y operadores supondrían mucho más impacto global en el proyecto ya que uno de los motivos de peso para apostar por esta tecnología son los ahorros que supondría. En cambio, que el proyecto suponga una alta inversión o altos precios de los repuestos es un aspecto que aceptaríamos si los beneficios son sustanciales.

Grupo D: Riesgos económicos	R ₁₅ : Beneficios menores para usuarios y operadores de red	R ₁₆ : Alta inversión inicial	R ₁₇ : Alto precio repuestos o de compatibilidad
R ₁₅ : Beneficios menores para usuarios y operadores de red	.....	Mucho más (Mm) (0, 0, 0, 0.3)	Mucho más (Mm) (0, 0, 0, 0.3)
R ₁₆ : Alta inversión inicial	Mucho menos (MI) (0.7, 1, 1, 1)	.....	Más (M) (0, 0.25, 0.25, 0.5)
R ₁₇ : Alto precio repuestos o de compatibilidad	Mucho menos (MI) (0.7, 1, 1, 1)	Menos (L) (0.5, 0.75, 0.75, 1)	.....

Tabla 32 Medida de RD por comparación por pares de los riesgos asociados al grupo de riesgos económicos. Fuente: Elaboración propia

11.4 Cálculo del valor de RD local (RD*)

Aplicando el procedimiento descrito en el apartado (2.4.3) obtendremos el RD_i^* para cada riesgo de cada grupo y nivel, que se operará con el valor central de los números difusos correspondientes de las valoraciones lingüísticas realizadas anteriormente para simplificar los cálculos. En la Tabla 31, se muestran los valores de RD_i^* de cada riesgo de todos los grupos y niveles de la estructura jerárquica de riesgos.

A continuación, se muestra un ejemplo del procedimiento del cálculo que se ha realizado. Por ejemplo, en el caso del cálculo del RD local para el grupo de riesgos legales, la función objetivo a que se debe minimizar es la siguiente:

$$\min \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (RDC'_{ij} \ominus RDC_{ij})^2 \right] = \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left(\frac{RD_i^* + (1 - RD_j^*)}{2} - RDC_{ij} \right)^2 \right]$$

Para resolver este problema de minimización usaremos un algoritmo de programación cuadrática secuencial (SPQ) empleando Matlab.

Esta función se llama “quadprog (H,f,A,b)” y recibe las variables H, f, A y b. Donde H y f definen la función objetivo de minimización y A y b sirven para definir las restricciones de desigualdad.

Desarrollamos la función a minimizar para dejarlos en términos de RD_i^{*2} , RD_i^* y $RD_i^* \cdot RD_j^*$ para poder definir las variables ‘H’ y ‘f’ de la función ‘quadprog’.

Teniendo en cuenta que $RD_{12}^* = 0.25$, $RD_{13}^* = 0$, $RD_{23}^* = 0.25$ y que los términos independientes no son necesarios para la función ‘quadprog’; la función de minimización para los riesgos legales queda de la siguiente forma:

$$\min [0.5RD_1^{*2} + 0.5RD_2^{*2} + 0.5RD_3^{*2} + 0.75RD_1^* + 0RD_2^* - 0.75RD_3^* - 0.5RD_1^* RD_2^* - 0.5RD_1^* RD_3^* - 0.5RD_2^* RD_3^*]$$

Las restricciones para nuestro caso de estudio son las siguientes:

$$\begin{aligned} \sum RD_i^* &\leq 1 \\ -RD_1^* &\leq 0 \\ -RD_2^* &\leq 0 \\ -RD_3^* &\leq 0 \end{aligned}$$

Definida la función y las restricciones, las variables de la función ‘quadprog’ quedan como se muestra en la Figura 19.

```

H = 2* [0.5 -0.5 -0.5 ;
        -0.5 0.5 -0.5 ;
        -0.5 -0.5 0.5] ;

f = [0.75; 0; -0.75];

A = [1 1 1 ;
     -1 0 0 ;
     0 -1 0 ;
     0 0 -1] ;

b =[1;0;0;0];

LB = [0.08 0.08 0.08];
UB = [0.8 0.8 0.8];

[x,fval,exitflag,output,lambda] = quadprog(H,f,A,b,[],[], LB, UB, 2);
    
```

Figura 19 Definición de la función ‘quadprog’ en Matlab para minimizar la función del caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Las soluciones de los pesos locales para los riesgos legales que arroja la minimización son:

$$RD^*_1 = 0.08 \qquad RD^*_2 = 0.2725 \qquad RD^*_3 = 0.6475$$

Otro ejemplo de cálculo, para el grupo de riesgos técnicos y subgrupo de baja fiabilidad, la función de minimización queda de esta forma:

$$\min[0.75w_4^2 + 0.75w_5^2 + 0.75w_6^2 + 0.75w_7^2 + 0.75w_4 - 1.25w_5 + 0.75w_6 - 0.25w_7 - 0.5w_4 w_5 - 0.5w_4 w_6 - 0.5w_4 w_7 - 0.5w_5 w_6 - 0.5w_4 w_7]$$

Con las siguientes restricciones:

$$\begin{aligned} \sum RD^*_i &\leq 1 \\ -RD^*_4 &\leq 0 \\ -RD^*_5 &\leq 0 \\ -RD^*_6 &\leq 0 \\ -RD^*_7 &\leq 0 \end{aligned}$$

Las variables de la función para la minimización quedan se definen como se muestra en la Figura 20.

```

1
2 - H = 2* [0.75 -0.5 -0.5 -0.5;
3         -0.5 0.75 -0.5 -0.5 ;
4         -0.5 -0.5 0.75 -0.5;
5         -0.5 -0.5 -0.5 0.75];
6
7 - f = [0.75; -1.25; 0.75; -0.25];
8
9 - A = [1 1 1 1;
10      -1 0 0 0 ;
11       0 -1 0 0 ;
12       0 0 -1 0 ;
13       0 0 0 -1];
14
15 - b = [1;0;0;0;0];
16
17
18 - [x,fval,exitflag,output,lambda] = quadprog (H ,f,A,b);

```

Figura 20 Definición de la función ‘quadprog’ en Matlab para minimizar la función del caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Las soluciones de los pesos locales para los riesgos legales que arroja la minimización son:

$$RD^*_4 = 0.14 \quad RD^*_5 = 0.3 \quad RD^*_6 = 0.14 \quad RD^*_7 = 0.42$$

Para el grupo de riesgos técnicos y subgrupo de incumplimiento de las especificaciones, la función de minimización queda de esta forma:

$$\min[0.75RD^*_8^2 + 0.75RD^*_9^2 + 0.75RD^*_8 - 1.25RD^*_9 - 0.5RD^*_8 RD^*_9]$$

Con las siguientes restricciones:

$$\begin{aligned} \sum RD^*_i &\leq 1 \\ -RD^*_8 &\leq 0 \\ -RD^*_9 &\leq 0 \end{aligned}$$

Las variables de la función para la minimización quedan se definen como se muestra en la Figura 21.

```
H = 2* [0.25 -0.5 ;
        -0.5 0.25];

f = [0.25; -0.25];

A = [1 1 ;
     -1 0 ;
      0 -1 ];

b =[1;0;0];

LB = [0.08 0.08];
UB = [0.8 0.8];

[x, fval, exitflag, output, lambda] = quadprog(H, f, A, b, [], [], LB, UB);
```

Figura 21 Definición de la función ‘quadprog’ en Matlab para minimizar la función del caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Las soluciones de los pesos locales para los riesgos legales que arroja la minimización son:

$$RD^*_8 = 0.3333 \qquad RD^*_9 = 0.6667$$

11.5 Agregar RD* en la jerarquía

Con la expresión del apartado (2.4.4) calculamos el valor de RD_i para cada riesgo en el nivel inferior de la estructura jerárquica. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 33.

Ejemplo de cómo obtener este valor es que, si tenemos, por ejemplo, el riesgo R_2 que tiene un peso local $RD^*_2 = 0.2725$ y el grupo en el que está contenido, A, tiene un peso local de $RD^*_A = 0.31$, el peso global para este riesgo en el nivel más inferior de la jerarquía es de:

$$RD_2 = RD^*_2 \cdot RD^*_A = 0.2725 \cdot 0.31 = 0.084475$$

Para que la suma total de los pesos sea la unidad, tenemos que normalizar estos valores obtenidos, para ello, sumamos todos los valores de RD de cada uno de los valores y cada RD_i lo dividimos por el total, de esta manera, ahora tenemos como resultado los riesgos de discriminación que su total suma 1, están normalizados.

Riesgo	RD*	RD	RD normalizados
A	0.31		
R1: Inseguridad jurídica	0.08	0.0248	0,02583414
R2: Falta de regulación de mercado	0.2725	0.084475	0,08799754
R3: Ausencia de estandarización de los componentes tecnológicos y eléctricos para los EV	0.6475	0.200725	0,20909508
B	0.08		

SG ₁	0.0833		
R ₄ : Degradación de las baterías	0.14	0,00093296	0,00097186
R ₅ : Fallos en subsistemas auxiliares del VE	0.3	0,0019992	0,00208257
R ₆ : Fallos en el sistema de carga	0.14	0,00093296	0,00097186
R ₇ : Fallos en la red de distribución	0.42	0,00279888	0,00291559
SG ₂	0.4583		
R ₈ : Fallos en la interoperabilidad	0.333	0,01220911	0,01271822
R ₉ : Mala integración con sistemas V2H	0.6667	0,02444389	0,02546318
SG ₃	0.4583		
R ₁₀ : Rendimiento de componentes más bajo de lo esperado	0.833	0,03054111	0,03181465
R ₁₁ : Estrategia de carga/descarga no optimizada	0.1667	0,00611189	0,00636675
C	0.45		
R ₁₂ : Pérdida de privacidad	0.08	0,036	0,03750117
R ₁₃ : Aumento de la brecha social	0.6475	0,291375	0,30352511
R ₁₄ : Impacto negativo en el medio ambiente	0.2725	0,122625	0,12773837
D	0.12		
R ₁₅ : Beneficios menores para usuarios y operadores de red	0.08	0,0096	0,01000031
R ₁₆ : Alta inversión inicial	0.21	0,0252	0,02625082
R ₁₇ : Alto precio repuestos o de compatibilidad	0.71	0,0852	0,08875277

Tabla 33 Valores de RD*, RD para cada riesgo de la estructura jerárquica. Fuente: Elaboración propia.

11.6 Inferencia difusa. Cálculo de ORF

Para el cálculo del factor de riesgo general (ORF), lo calculamos utilizando la expresión descrita en (2.4.5). Como estamos operando con el valor central del número triangular, para los números difusos correspondientes a los riesgos de impacto (RI) y la probabilidad de riesgo (RP), escogemos también su valor central. Si nos fijamos, para estos parámetros los valores centrales son iguales en cada término lingüístico, excepto, para las valoraciones extremas. Aunque la diferencia es pequeña, quitaremos el segundo término del número difuso y trabajamos con el valor central. En la Tabla 34, se muestran los valores numéricos de RI y RP para cada riesgo.

Como hemos trabajado con el vértice superior del eje de abscisas y no con números difusos trapezoidales, no es necesario el paso de desfuzzificación de los riesgos. Por lo tanto, los valores numéricos obtenidos en el cálculo de ORF se pueden ordenar de mayor a menor para obtener una clasificación ponderada final de cada uno de los riesgos que establecidos en la estructura jerárquica (Tabla 34).

Riesgo	RI	RP	RD normalizado	ORF	Ranking
A					
R ₁ : Inseguridad jurídica	0,25	0,5	0,02583414	4,84	9
R ₂ : Falta de regulación de mercado	0,5	0,5	0,08799754	2,84	10
R ₃ : Ausencia de estandarización de los componentes tecnológicos y eléctricos para los EV	0,25	0,1	0,20909508	0,12	17
B					
SG ₁					
R ₄ : Degradación de las baterías	1	1	0,00097186	1028,9	1
R ₅ : Fallos en subsistemas auxiliares del VE	0,5	0,5	0,00208257	120,04	3
R ₆ : Fallos en el sistema de carga	0,75	1	0,00097186	771,71	2
R ₇ : Fallos en la red de distribución	0,5	0,5	0,00291559	85,75	4
SG ₂					
R ₈ : Fallos en la interoperabilidad	0,25	0,1	0,01271822	1,97	11
R ₉ : Mala integración con sistemas V2H	0,25	0,1	0,02546318	0,98	14
SG ₃					
R ₁₀ : Rendimiento de componentes más bajo de lo esperado	0,5	0,1	0,03181465	1,57	13
R ₁₁ : Estrategia de carga/descarga no optimizada	0,75	0,5	0,00636675	58,90	5
C					
R ₁₂ : Pérdida de privacidad	1	0,5	0,03750117	13,33	8
R ₁₃ : Aumento de la brecha social	0,25	0,5	0,30352511	0,41	15
R ₁₄ : Impacto negativo en el medio ambiente	0,5	0,5	0,12773837	1,96	12
D					
R ₁₅ : Beneficios menores para usuarios y operadores de red	0,75	0,5	0,01000031	37,50	6
R ₁₆ : Alta inversión inicial	0,5	1	0,02625082	19,05	7
R ₁₇ : Alto precio repuestos o de compatibilidad	0,25	0,1	0,08875277	0,28	16

Tabla 34 Valores de RI, RP, RD, ORF y ranking para cada riesgo de la estructura jerárquica.
Fuente: Elaboración propia.

11.7 Resultados y conclusiones

En el apartado anterior, en la Tabla XX, se observan los resultados finales de la aplicación del modelo propuesto para la evaluación de los riesgos. Aunque, finalmente, se han empleado los valores centrales de los números difusos del RI, RP, y RD para el cálculo de los pesos de los criterios (RD*) y para el cálculo final del factor de riesgo general (ORF), los resultados son igualmente válidos, con fundamento teórico y sirven para identificar, cuantificar y valorar los riesgos de la utilización de V2G como generación distribuida.

En cuanto a las puntuaciones obtenidas para el factor de riesgo general, se puede observar que hay riesgos con un valor muy superior frente a otros, y evidentemente, es un indicativo de que ese riesgo representa, o supone, un mayor riesgo global para el proyecto de integración de V2G. Lo que quiere decir que, habrá que prestar mucha más atención a estos riesgos.

En el ranking de riesgos, hay un claro subgrupo que representa un mayor riesgo global en el proyecto. Se trata del subgrupo de baja fiabilidad del grupo de riesgos técnicos. Este subgrupo contiene los 4 riesgos que más impacto supone la utilización de V2G: la degradación de las baterías (R₄), fallos en el sistema de carga (R₆), fallos en subsistemas auxiliares del VE (R₅) y fallos en la red de distribución (R₇).

Los siguientes riesgos con mayor peso en el proyecto, aunque su valor de ORF no sea tan elevado como el de los riesgos anteriores, representan también una preocupación dentro del proyecto, aunque eso sí, no llega a ser tan preocupante ni precisa de una atención inmediata para solucionarlo. Estos riesgos son los relacionados con los aspectos económicos como el riesgo de la obtención de beneficios menores para usuarios y operadores de red (R₁₅) y la alta inversión inicial (R₁₆). A estos riesgos les siguen el riesgo por la pérdida de privacidad (R₁₂) y el riesgo ocasionado por la inseguridad jurídica (R₁).

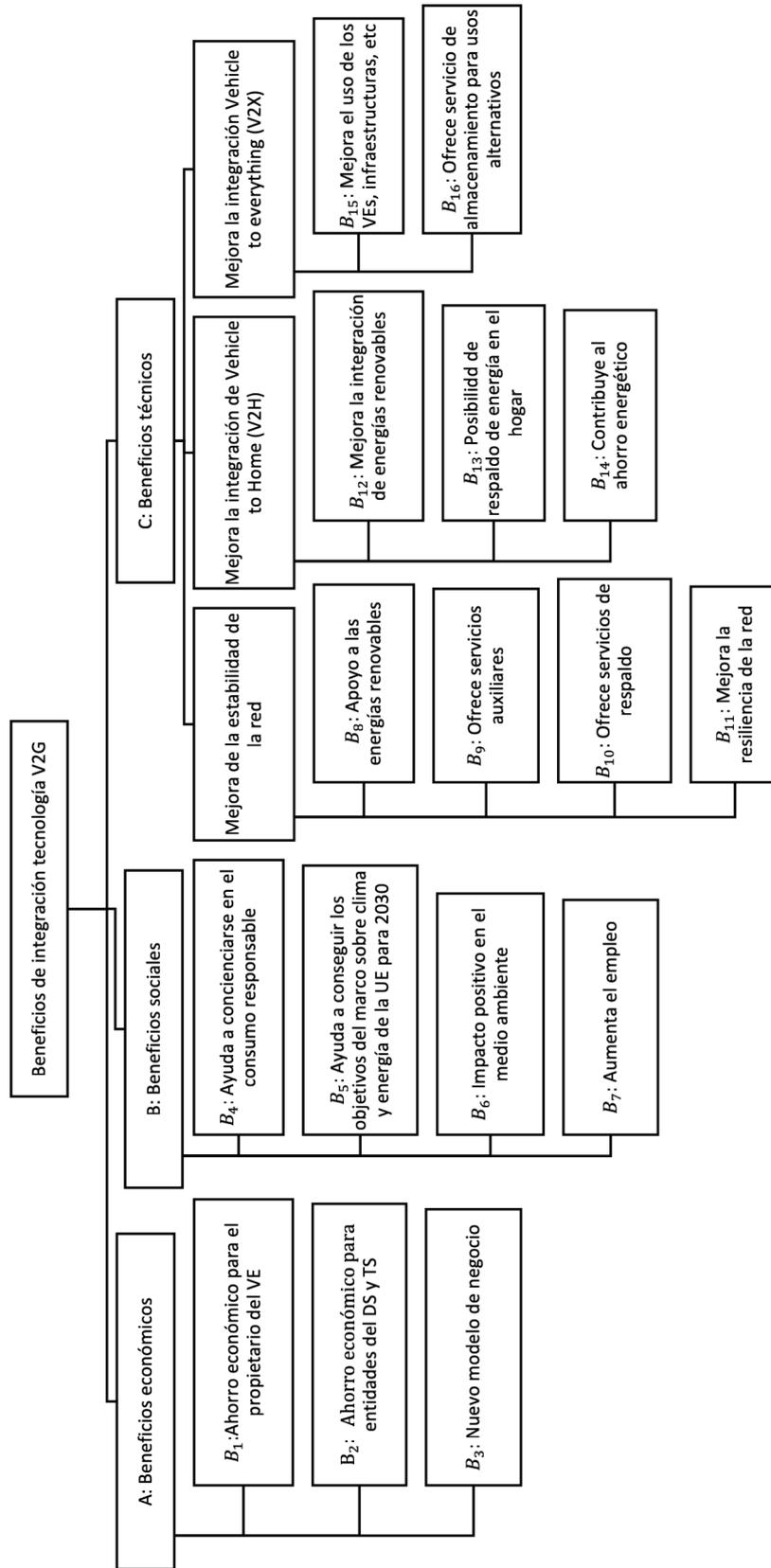
Los demás riesgos, en la cola del ranking, son riesgos menores que, aún estando presentes, se les puede considerar menos relevantes y que no van a influir tanto en el proyecto si no les ponemos tanto esfuerzo para darles solución.

12 CASO DE ESTUDIO: EVALUACIÓN DE LOS BENEFICIOS DE LA INTEGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA V2G

12.1 Identificar las fuentes de beneficios y construir una estructura jerárquica de beneficios

Del mismo modo que se evaluó los riesgos aparentes de la integración de la tecnología V2G, se va proceder de la misma manera a evaluar los bienes y servicios que supondría la integración de V2G. Para ello, he confeccionado una estructura jerárquica de los beneficios que puede generar esta tecnología bajo mi criterio basado en todo el bagaje adquirido de documentarme para realizar este trabajo. En la Figura 19 se muestra esta estructura jerárquica de beneficios del proyecto de integración de V2G.

Figura 22 Estructura jerárquica de beneficios. Fuente: Elaboración propia.



Análisis de riesgos y beneficios en la utilización de la tecnología V2G en generación distribuida

La estructura jerárquica de beneficios de integración de V2G (nivel 0) consta de 3 grupos de beneficios (nivel 1): económicos, sociales y técnicos. Se han establecido estos 3 tipos de principales grupos como representación de los distintos ámbitos que se verían afectados en un proyecto con la participación de V2G.

En el grupo de beneficios económicos (A), tenemos los beneficios resultantes de restar, a los ingresos que puede generar nuestro proyecto mediante bienes o servicios, los costes derivados de poder prestar esos servicios o bienes. En la Tabla 32 se describen estos beneficios económicos de la integración de V2G.

Beneficios económicos		Descripción
Ahorros económicos	B1: Ahorro económico para el propietario del VE	El usuario puede percibir ingresos con el uso de V2G y la prestación de servicios. Además de otros ahorros adicionales como en combustible al adquirir un vehículo eléctrico.
	B2: Ahorro económico para entidades del DS y TS	Esta tecnología ofrece la posibilidad de mantener le suministro eléctrico estable, seguro y continuo con costos más reducidos que con los métodos convencionales.
	B3: Nuevo modelo de negocio	Con la llegada de esta nueva tecnología, se abre la oportunidad a un nuevo modelo de negocio como fabricante del equipo para V2G.

Tabla 35 Descripción de los beneficios económicos de la integración de la tecnología V2G. Fuente: Elaboración propia.

Dentro del grupo de beneficios sociales (B) se indican los beneficios que suponen una mejora del bienestar social y ambiental. En la Tabla 33 se recogen los más importantes.

Beneficios sociales	Descripción
B4: Ayuda a concienciarse en el consumo responsable	Las oportunidades que brinda V2G puede suponer un cambio en la conducta, o el pensamiento, de la población para mostrar interés en los vehículos eléctricos y el modo de uso de la energía.
B5: Ayuda a conseguir los objetivos del marco sobre clima y energía de la UE para 2030	La integración de V2G favorece la consecución de las metas y objetivos propuestos por la Unión Europea sobre los objetivos políticos en el marco sobre clima y energía para 2030. Entre ellos, la reducción en un 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero, una cuota del 32% de uso de energías renovables y una mejora del 32,5% en eficiencia energética.
B6: Impacto positivo en el medio ambiente	El uso de V2G, permite el uso de VE como fuente de generación, que conllevaría el desplazamiento de combustibles fósiles, contribuyendo a disminuir la huella de carbono, los daños a la salud y favoreciendo la transición energética.
B7: Aumenta el empleo	V2G supondría la necesidad de nuevas figuras en el mercado eléctrico y nuevos productores de los componentes que integran esta tecnología, lo que llevaría a contratar a nuevos trabajadores para el sector.

Tabla 36 Descripción de los beneficios sociales de la integración de la tecnología V2G. Fuente: Elaboración propia.

Análisis de riesgos y beneficios en la utilización de la tecnología V2G en generación distribuida

En el último grupo tenemos los beneficios técnicos (C), que están relacionados con las ventajas operativas y funcionales de la integración de V2G. En la Tabla 34 se indican estos beneficios.

Beneficios técnicos		Descripción
Mejora de la estabilidad de la red	B ₈ : Apoyo a las energías renovables	V2G da solución al problema de la intermitencia de las fuentes de energía renovables, como el viento o el sol, que dependen de la carga y sirve como tecnología para el almacenamiento de la energía sobrante para su uso en las horas pico. También, el uso de estas fuentes de energía renovables reduce el costo de generación y, luego, esta energía se usa como energía activa para la red para el aplanamiento de la curva de cargas.
	B ₉ : Ofrece servicios auxiliares	Esta tecnología aumenta la calidad, confiabilidad y sostenibilidad de la energía al reducir la regulación de la frecuencia y la distorsión armónica. Además, el uso de los vehículos eléctricos como reserva de rotación, reducen el tamaño de los generadores, reduciendo su desgaste y costos.
	B ₁₀ : Ofrece servicios de respaldo	Los dispositivos V2G permiten la compensación de reactiva para la regulación de voltaje y la corrección del factor de potencia. También se consigue un alivio de la sobrecarga en la línea mediante el afeitado de pico y el aplanamiento de la curva de demanda.
	B ₁₁ : Mejora la resiliencia de la red	El uso de V2G, permite el uso de VE como fuente de generación, que conllevaría el desplazamiento de combustibles fósiles, contribuyendo a disminuir la huella de carbono, los daños a la salud y favoreciendo la transición energética
Mejora la integración del Vehicle to Home (V2H)	B ₁₂ : Mejora la integración de energías renovables	V2G ofrece la posibilidad de complementarse con las energías renovables y servir de apoyo como sistema de almacenamiento de excesos en los períodos de baja demanda para el hogar.
	B ₁₃ : Posibilidad de respaldo de energía en el hogar	V2G se puede utilizar como fuente de generación para dar un respaldo energético de emergencia en casos de fallas en el sistema eléctrico, apagones o catástrofes naturales.
	B ₁₄ : Contribuye al ahorro energético	La tecnología V2G promueve el uso eficiente de la energía y el ahorro energético.
Mejora la integración Vehicle to Everything (V2X)	B ₁₅ : Mejora la utilidad de los VEs, la infraestructura, etc	La tecnología V2X proporciona un uso eficiente de los recursos energéticos existentes como son los EV y también reducen los costos de infraestructura del sector energético.
	B ₁₆ : Ofrece servicio de almacenamiento para usos alternativos	La integración de V2G en los vehículos eléctricos permite que podamos usar la energía de nuestro vehículo, por ejemplo, para alimentar un equipo de música en la montaña, una barbacoa eléctrica, estufas eléctricas, etc.

Tabla 37 Descripción de los beneficios técnicos de la integración de la tecnología V2G. Fuente: Elaboración propia.

12.2 Definición de los parámetros RI y RP y agregación difusa

Del mismo modo que se ha procedido en con la evaluación de riesgos, ahora valoraré bajo mi criterio los beneficios de los grupos y niveles indicados en la estructura jerárquica. Primeramente, voy a valorar el riesgo de impacto y riesgo de probabilidad de los beneficios como el impacto del beneficio que se podría obtener de cada beneficio definido y la probabilidad de que ocurra.

A continuación, se exponen las tablas con las valoraciones lingüísticas para cada beneficio de cada grupo y nivel definidos en el apartado anterior para la integración de la tecnología V2G.

Grupo A: Beneficios económicos	Impacto del beneficio (RI)		Probabilidad del beneficio (RP)	
	Valoración de RI	Número difuso	Valoración de RP	Número difuso
B1: Ahorro económico para el propietario del VE	Grave (S)	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	Media probabilidad (M)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
B2: Ahorro económico para entidades del DS y TS	Moderado (Mo)	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	Media probabilidad (M)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
B3: Nuevo modelo de negocio	Moderado (Mo)	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	Alta probabilidad (H)	(0.7, 0.9, 1, 1)

Tabla 38 Valoración lingüística de los parámetros RI y RP de los beneficios asociados al grupo de beneficios económicos. Fuente: Elaboración propia.

Grupo B: Beneficios sociales	Impacto del beneficio (RI)		Probabilidad del beneficio (RP)	
	Valoración de RI	Número difuso	Valoración de RP	Número difuso
B4: Ayuda a concienciarse en el consumo responsable	Menor (Mi)	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	Baja probabilidad (L)	(0, 0, 0.1, 0.2)
B5: Ayuda a conseguir los objetivos del marco sobre clima y energía de la UE para 2030	Moderado (Mo)	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	Alta probabilidad (H)	(0.7, 0.9, 1, 1)
B6: Impacto positivo en el medio ambiente	Moderado (Mo)	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	Alta probabilidad (H)	(0.7, 0.9, 1, 1)
B7: Aumenta el empleo	Insignificante (N)	(0, 0, 0.1, 0.2)	Media probabilidad (M)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)

Tabla 39 Valoración lingüística de los parámetros RI y RP de los beneficios asociados al grupo de beneficios sociales. Fuente: Elaboración propia.

Grupo C: Beneficios técnicos	Impacto del beneficio (RI)		Probabilidad del beneficio (RP)	
	Valoración de RI	Número difuso	Valoración de RP	Número difuso
B ₈ : Apoyo a las energías renovables	Crítico (C)	(0.8, 0.9, 1, 1)	Alta probabilidad (H)	(0.7, 0.9, 1, 1)
B ₉ : Ofrece servicios auxiliares	Grave (S)	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	Baja probabilidad (L)	(0, 0, 0.1, 0.2)
B ₁₀ : Ofrece servicios de respaldo	Menor (Mi)	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	Alta probabilidad (H)	(0.7, 0.9, 1, 1)
B ₁₁ : Mejora la resiliencia de la red	Menor (Mi)	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	Media probabilidad (M)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
B ₁₂ : Mejora la integración de las energías renovables	Crítico (C)	(0.8, 0.9, 1, 1)	Alta probabilidad (H)	(0.7, 0.9, 1, 1)
B ₁₃ : Posibilidad de respaldo de energía en el hogar	Grave (S)	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	Alta probabilidad (H)	(0.7, 0.9, 1, 1)
B ₁₄ : Contribuye al ahorro energético	Grave (S)	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)	Alta probabilidad (H)	(0.7, 0.9, 1, 1)
B ₁₅ : Mejora el uso de los VEs, infraestructura, etc	Menor (Mi)	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)	Media probabilidad (M)	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
B ₁₆ : Ofrece servicio de almacenamiento para usos alternativos	Insignificante (N)	(0, 0, 0.1, 0.2)	Baja probabilidad (L)	(0, 0, 0.1, 0.2)

Tabla 40 Valoración lingüística de los parámetros RI y RP de los beneficios asociados al grupo de beneficios técnicos. Fuente: Elaboración propia.

12.3 Medida del parámetro RD mediante comparaciones por pares de los factores de riesgo de cada grupo

El siguiente paso es obtener los valores para el parámetro de discriminación de riesgo (RD). En este caso, voy a valorar el beneficio general de cada par de beneficios de cada grupo y nivel de la estructura jerárquica de beneficios. Como solo cuento con mi juicio para la valoración del RD, los números difusos individuales serán los números difusos grupales en sí mismos. Las tablas siguientes muestran las comparaciones lingüísticas por pares y sus números difusos correspondientes para cada par de beneficios.

La comparación por pares de los grupos de los beneficios de integración de la tecnología V2G se muestran en la Tabla XX:

Beneficios integración V2G	A: Beneficios económicos	B: Beneficios sociales	C: Beneficios técnicos
A: Beneficios económicos	.....	Más (M)	Igual (S)
		(0, 0.25, 0.25, 0.5)	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)
B: Beneficios sociales	Menos (L)	.....	Menos (L)
	(0.5, 0.75, 0.75, 1)		(0.5, 0.75, 0.75, 1)
C: Beneficios técnicos	Igual (S)	Más (M)	.....
	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0, 0.25, 0.25, 0.5)	

Tabla 41 Medida de RD por comparación por pares de los grupos de beneficios de la integración de la tecnología V2G. Fuente: Elaboración propia

En el grupo de beneficios económicos (Tabla 35), he considerado igual de igual importancia los ahorros económicos que puede suponer tanto para los propietarios de los vehículos eléctricos como para las entidades que operan los sistemas de distribución y transporte porque si no existiese ningún incremento de los beneficios, no se consideraría esta tecnología.

Grupo A: Beneficios económicos (Ahorros económicos)	B ₁ : Ahorro económico para el propietario del VE	B ₂ : Ahorro económico para entidades del DS y TS	B ₃ : Nuevo modelo de negocio
B ₁ : Ahorro económico para el propietario del VE	.....	Igual (S)	Más (M)
		(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	(0, 0.25, 0.25, 0.5)
B ₂ : Ahorro económico para entidades del DS y TS	Igual (S)	.....	Más (M)
	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)		(0, 0.25, 0.25, 0.5)
B ₃ : Nuevo modelo de negocio	Menos (L)	Menos (L)	.....
	(0.5, 0.75, 0.75, 1)	(0.5, 0.75, 0.75, 1)	

Tabla 42 Medida de RD por comparación por pares de los beneficios asociados al grupo de beneficios económicos. Fuente: Elaboración propia

En el grupo de beneficios sociales de la Tabla XX, he dado más importancia al empleo, el impacto positivo en el medio ambiente y la consecución de los objetivos de la UE frente a la posible repercusión en los hábitos de consumo de las personas. También, le he dado igual importancia a la creación de empleo frente al impacto en el medio ambiente y a la ayuda para conseguir los objetivos de la UE.

Grupo B: Beneficios sociales	B4: Ayuda a concienciarse en el consumo responsable	B5: Ayuda a conseguir los objetivos del marco sobre clima y energía de la UE para 2030	B6: Impacto positivo en el medio ambiente	B7: Aumenta el empleo
B4: Ayuda a concienciarse en el consumo responsable	.....	Menos (L)	Igual (S) (0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	Menos (L) (0.5, 0.75, 0.75, 1)
B5: Ayuda a conseguir los objetivos del marco sobre clima y energía de la UE para 2030	Más (M) (0, 0.25, 0.25, 0.5)	.....	Igual (S) (0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	Igual (S) (0.3, 0.5, 0.5, 0.7)
B6: Impacto positivo en el medio ambiente	Igual (S) (0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	Igual (S) (0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	.....	Igual (S) (0.3, 0.5, 0.5, 0.7)
B7: Aumenta el empleo	Más (M) (0, 0.25, 0.25, 0.5)	Igual (S) (0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	Igual (S) (0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	.....

Tabla 43 . Medida de RD por comparación por pares de los beneficios del grupo de beneficios sociales. Fuente: Elaboración propia

Dentro del grupo de beneficios técnicos tenemos 3 subgrupos diferentes, la comparación por pares entre estos subgrupos se muestran en la Tabla XX:

Subgrupos de beneficios técnicos	SG1: Mejora la estabilidad de la red	SG2: Mejora la integración de Vehicle to Home (V2H)	SG3: Mejora la integración de Vehicle to Everything (V2X)
SG1: Mejora la estabilidad de la red	.....	Igual (S) (0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	Mucho más (Mm) (0, 0, 0, 0.3)
SG2: Mejora la integración de Vehicle to Home (V2H)	Igual (S) (0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	.....	Más (M) (0, 0.25, 0.25, 0.5)
SG3: Mejora la integración de Vehicle to Everything (V2X)	Mucho menos (Ml) (0, 0, 0, 0.3)	Menos (L) (0.5, 0.75, 0.75, 1)	.....

Tabla 44 Medida de RD por comparación por pares de los subgrupos de beneficios técnicos. Fuente: Elaboración propia

Análisis de riesgos y beneficios en la utilización de la tecnología V2G en generación distribuida

En las comparaciones binarias dentro del subgrupo de mejora de la estabilidad de la red del grupo de beneficios técnicos (Tabla XX), le he dado preferencia a los servicios de respaldo y apoyo a las energías renovables por beneficios potenciales que se han comentado en otros apartados del trabajo y por suponer los que menos inconvenientes ocasionan a la integración de V2G.

Grupo C: Beneficios técnicos (Mejora la estabilidad de la red)	B ₈ : Apoyo a las energías renovables	B ₉ : Ofrece servicios auxiliares	B ₁₀ : Ofrece servicios de respaldo	B ₁₁ : Mejora la resiliencia de la red
B ₈ : Apoyo a las energías renovables	.....	Más (M) (0, 0.25, 0.25, 0.5)	Igual (S) (0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	Más (M) (0, 0.25, 0.25, 0.5)
B ₉ : Ofrece servicios auxiliares	Menos (L) (0.5, 0.75, 0.75, 1)	.....	Menos (L) (0.5, 0.75, 0.75, 1)	Menos (L) (0.5, 0.75, 0.75, 1)
B ₁₀ : Ofrece servicios de respaldo	Igual (S) (0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	Más (M) (0, 0.25, 0.25, 0.5)	.....	Más (M) (0, 0.25, 0.25, 0.5)
B ₁₁ : Mejora la resiliencia de la red	Menos (L) (0.5, 0.75, 0.75, 1)	Más (M) (0, 0.25, 0.25, 0.5)	Menos (L) (0.5, 0.75, 0.75, 1)	.....

Tabla 45 Medida de RD por comparación por pares de los beneficios asociados al subgrupo mejora la estabilidad de la red del grupo de beneficios técnicos. Fuente: Elaboración propia

En las comparaciones binarias dentro del subgrupo de mejora de la integración de Vehicle to Home (V2H) del grupo de beneficios técnicos (Tabla XX), he considerado la mejora de la integración de energías renovables entre los beneficios que más impacto supondría entre estos beneficios.

Grupo C: Beneficios técnicos (Mejora la integración de Vehicle to Home (V2H))	B ₁₂ : Mejora la integración de energías renovables	B ₁₃ : Posibilidad de respaldo de energía en el hogar	B ₁₄ : Contribuye al ahorro energético
B ₁₂ : Mejora la integración de energías renovables	.....	Más (M) (0, 0.25, 0.25, 0.5)	Más (M) (0, 0.25, 0.25, 0.5)
B ₁₃ : Posibilidad de respaldo de energía en el hogar	Menos (L) (0.5, 0.75, 0.75, 1)	.....	Igual (S) (0.3, 0.5, 0.5, 0.7)
B ₁₄ : Contribuye al ahorro energético	Menos (L) (0.5, 0.75, 0.75, 1)	Igual (S) (0.3, 0.5, 0.5, 0.7)	.....

Tabla 46 Medida de RD por comparación por pares de los beneficios asociados al subgrupo mejora la integración de Vehicle to Home (V2H) del grupo de beneficios técnicos. Fuente: Elaboración propia.

En las comparaciones binarias dentro del subgrupo de mejora de la integración de Vehicle to Home (V2H) del grupo de beneficios técnicos (Tabla XX), he considerado más importante que se mejore el uso de los VEs y las infraestructuras porque suponen mejores ventajas en la integración de V2G.

Grupo C: Beneficios técnicos (Mejora la integración Vehicle to Everything (V2X))	B ₁₅ : Mejora el uso de los VEs, infraestructura, etc.	B ₁₆ : Ofrece servicio de almacenamiento para usos alternativos
B ₁₅ : Mejora el uso de los VEs, infraestructura, etc.	.....	Más (M) (0, 0.25, 0.25, 0.5)
B ₁₆ : Ofrece servicio de almacenamiento para usos alternativos	Menos (L) (0.5, 0.75, 0.75, 1)	.....

Tabla 47 Medida de RD por comparación por pares de los beneficios asociados al subgrupo mejora la integración de Vehicle to Everything (V2X) del grupo de beneficios técnicos. Fuente: Elaboración propia

12.4 Cálculo del valor de RD local (RD*)

De la misma manera que se ha explicado para hacer los cálculos con los riesgos, hacemos lo mismo para obtener el RD_i^* para cada beneficio de cada grupo y nivel, que se operará con el valor central de los números difusos correspondientes de las valoraciones lingüísticas realizadas anteriormente para simplificar los cálculos. En la Tabla XX, se muestran los valores de RD_i^* de cada beneficio de todos los grupos y niveles de la estructura jerárquica de beneficios.

12.5 Agregar RD* en la jerarquía

Con la expresión del apartado (2.4.4) calculamos el valor de RD_i para cada beneficio en el nivel inferior de la estructura jerárquica y normalizamos los resultados. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 48.

Beneficio	RD*	RD	RD normalizados
A	0,2083		
B1: Ahorro económico para el propietario del VE	0,2083	0,043	0,043
B2: Ahorro económico para entidades del DS y TS	0,2083	0,043	0,043
B3: Nuevo modelo de negocio	0,5833	0,122	0,122
B	0,5833		
B4: Ayuda a concienciarse en el consumo responsable	0.34	0,198	0,198
B5: Ayuda a conseguir los objetivos del marco sobre clima y energía de la UE para 2030	0.19	0,111	0,111
B6: Impacto positivo en el medio ambiente	0.28	0,163	0,163
B7: Aumenta el empleo	0.19	0,111	0,111
C	0,2083		
SG ₁	0,0833		
B8: Apoyo a las energías renovables	0.16	0,003	0,003
B9: Ofrece servicios auxiliares	0.4	0,007	0,007
B10: Ofrece servicios de respaldo	0.16	0,003	0,003
B11: Mejora la resiliencia de la red	0.28	0,005	0,005
SG ₂	0,2083		
B12: Mejora la integración de energías renovables	0,0833	0,004	0,004
B13: Posibilidad de respaldo de energía en el hogar	0,4583	0,020	0,020
B14: Contribuye al ahorro energético	0,4583	0,020	0,020
SG ₃	0,7083		
B15: Mejora la utilidad de los Ves, la infraestructura, etc	0,3333	0,049	0,049
B16: Ofrece servicio de almacenamiento para usos alternativos	0,6667	0,098	0,098

Tabla 48 Valores de RD*, RD para cada beneficio de la estructura jerárquica. Fuente: Elaboración propia.

12.6 Inferencia difusa. Cálculo de ORF

El cálculo del factor de riesgo general (ORF), lo calculamos utilizando la expresión descrita en (2.4.5). En la Tabla 49, se muestra el resultado del ORF de cada uno de los beneficios y los valores centrales de los números difusos de RI, RP y el RD normalizado calculado anteriormente.

Los valores numéricos obtenidos en el cálculo de ORF se pueden ordenar de mayor a menor para obtener una clasificación ponderada final de cada uno de los beneficios que establecen la estructura jerárquica (Tabla 49).

Análisis de riesgos y beneficios en la utilización de la tecnología V2G en generación distribuida

Beneficio	RI	RP	RD normalizado	ORF	Ranking
A					
B ₁ : Ahorro económico para el propietario del VE	0,75	0,5	0,043	8,64	8
B ₂ : Ahorro económico para entidades del DS y TS	0,5	0,5	0,043	5,76	9
B ₃ : Nuevo modelo de negocio	0,5	1	0,122	4,11	11
B					
B ₄ : Ayuda a concienciarse en el consumo responsable	0,25	0,1	0,198	0,13	15
B ₅ : Ayuda a conseguir los objetivos del marco sobre clima y energía de la UE para 2030	0,5	1	0,111	4,51	10
B ₆ : Impacto positivo en el medio ambiente	0,5	1	0,163	3,06	12
B ₇ : Aumenta el empleo	0,1	0,5	0,111	0,45	14
C					
SG ₁					
B ₈ : Apoyo a las energías renovables	1	1	0,003	360,15	1
B ₉ : Ofrece servicios auxiliares	0,75	0,1	0,007	10,80	7
B ₁₀ : Ofrece servicios de respaldo	0,25	1	0,003	90,04	3
B ₁₁ : Mejora la resiliencia de la red	0,25	0,5	0,005	25,72	6
SG ₂					
B ₁₂ : Mejora la integración de energías renovables	1	1	0,004	276,64	2
B ₁₃ : Posibilidad de respaldo de energía en el hogar	0,75	1	0,020	37,71	4
B ₁₄ : Contribuye al ahorro energético	0,75	1	0,020	37,71	5
SG ₃					
B ₁₅ : Mejora la utilidad de los Ves, la infraestructura, etc	0,25	0,5	0,049	2,54	13
B ₁₆ : Ofrece servicio de almacenamiento para usos alternativos	0,1	0,1	0,098	0,10	16

Tabla 49 Valores de RD*, RD, ORF y ORFT para cada beneficio de la estructura jerárquica.
Fuente: Elaboración propia.

12.7 Resultados y conclusiones

Observando los resultados finales obtenidos del ORF para cada uno de los beneficios de la integración de V2G, de los tres grupos principales que se establecieron en la estructura jerárquica, del que se obtendrían beneficios más potenciales estarían asociados a los beneficios técnicos, seguidos de los económicos y, en último lugar, los beneficios sociales.

El beneficio que ha resultado más ventajoso en la utilización de V2G es el apoyo a las energías renovables (B₈) como generadoras de electricidad, dentro del subgrupo de mejora de la estabilidad de la red. Este beneficio, es seguido de uno que tiene el mismo interés, se trata del beneficio de la mejora de la integración de energías renovables (B₁₂) del grupo de mejora de la integración de Vehicle to Home (V2H).

Este ranking de beneficios nos da una visión global de las áreas en las que la utilización de V2G supone unos beneficios importantes que se deben de estudiar y tener muy en cuenta para dar a conocer esta tecnología y en las que se debe enfocar para atraer el interés de las personas y empresas par que apuesten por esta.

CONCLUSIONES

En este trabajo he hecho un amplio estudio de las investigaciones pretéritas publicadas acerca de la tecnología V2G, que han servido como base para alcanzar los diferentes objetivos que me planteaba al comienzo de mi TFG.

Con la parte 1 del trabajo, introducción a la tecnología de vehículo a red (V2G) se consigue tener una idea básica de la situación en la que se encuentra el vehículo eléctrico y se presentan las nuevas tecnologías digitales de control de las redes eléctricas, las smart grids, se conocen sus principales características y el papel que juegan los operadores de sistema y agregadores. Estos apartados sirven para presentar el concepto de V2X y, con este, los conceptos de Vehicle to Home (V2H) y Vehicle to Grid (V2G) para conocer cómo interactúan con los sistemas. Y esta parte termina con una explicación más detallada de cómo funciona V2G, cuáles son sus características y de que elementos se compone.

En la parte 2 del trabajo, integración de la tecnología V2G, he pretendido reunir y mostrar ejemplos que los diferentes estudios han hecho analizando determinados aspectos de la tecnología V2G. Con esto, tenemos un apartado con las ventajas más potenciales que se cree que aportaría la tecnología V2G si se decidiera integrar de forma masiva. Además de esto, se ejemplifica con un estudio el efecto en la degradación de las baterías de los vehículos eléctricos debido a la utilización de V2G para distintas aplicaciones y modos de uso. Este apartado nos da una muy buena idea del potencial de V2G.

En la parte 3 de análisis de riesgos de V2G, gracias al trabajo previo de las dos anteriores partes, he conseguido elaborar una estructura jerárquica donde se identifican todos los riesgos y beneficios primordiales de una hipotética integración masiva de V2G en la actualidad.

Del presente Trabajo de Fin de Grado podemos extraer las siguientes conclusiones respecto a las investigaciones realizadas y a los resultados que he obtenido de las evaluaciones de riesgos y beneficios desarrollados:

Primero. Las tecnologías V2X, V2H y V2G todavía están en fase de desarrollo. Hay mucha controversia acerca de los beneficios que realmente V2G, en la práctica, es capaz de generar, tanto económicamente como ambientalmente o en la manera en que puede afectar al sistema eléctrico y a los propios vehículos.

Segundo. Con la evaluación de riesgos y la obtención del ranking, se hace evidente que la tecnología V2G presenta una serie de problemas y cuestiones a los que se les debe dar prioridad y acaparar la mayor atención. Estos problemas se identifican dentro de el grupo de riesgos técnicos y asociados a los riesgos que podrían ocasionar una baja fiabilidad. La degradación de las baterías se presenta como el riesgo que debe requerir especial atención, pues, es un factor que está frenando la implementación de la tecnología V2G.

Tercero. La evaluación planteada de los beneficios es, junto con los riesgos, el paso más importante. La identificación y cuantificación de estos, nos permite tomar una decisión a cerca de cómo enfocar la utilización de V2G, en qué áreas resulta más interesante y dónde podemos salir más beneficiados. Por los resultados obtenidos de la evaluación, la tecnología V2G parece resultar muy atractiva como un complemento para las operar conjuntamente con las fuentes de energía renovables e integrarlas de mejor manera con el hogar mediante V2H y, así, dar un paso más en la eficiencia energética.

Considero, que este Trabajo de Fin de Grado resulta de gran utilidad ya que, además de reunir información muy relevante y que sienta las bases para conocer esta nueva tecnología de vehículo a red, plantea una evaluación de todos los posibles riesgos y beneficios que se le podrían plantear a una persona, o empresa, si decide apostar por esta tecnología.

Uno de los aspectos que se podría mejorar del trabajo es incorporar las investigaciones que se han hecho en las pruebas piloto, debido a que se han realizado pocas y la información de estas es escasa, no se han introducido en el trabajo, pero aportarían mucho valor ya que serían datos reales y no simulados que ayudarían a tomar decisiones y valorar la tecnología V2G de distinta manera según esos datos reales. Del mismo modo, una de las limitaciones que he tenido al realizar el trabajo es que por causa ajenas no he podido contar con un grupo de expertos en la materia para así contar con diferentes opiniones y perspectivas a cerca de qué riesgos y beneficios supone la utilización de la tecnología V2G como generación distribuida, y así tener una mejor idea de la conveniencia de considerar V2G como una tecnología por la que hay que apostar fuerte y que supondrá una autentica revolución en la manera en que utilizamos la energía.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] «Integrating plug-in electric vehicles into power grids_ A comprehensive review on power interaction mode, scheduling methodology and mathematical foundation | Elsevier Enhanced Reader». <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S136403211930382X?token=38E0E941843B2FC1980B96704FE53A148CC024502FECB49C4A2763FF840BF5318D536FE47E48A6656A9E733436F720E7> (accedido mar. 13, 2020).
- [2] C. Liu, K. T. Chau, D. Wu, y S. Gao, «Opportunities and Challenges of Vehicle-to-Home, Vehicle-to-Vehicle, and Vehicle-to-Grid Technologies», *Proc. IEEE*, vol. 101, n.º 11, pp. 2409-2427, nov. 2013, doi: 10.1109/JPROC.2013.2271951.
- [3] «Global EV Outlook 2019 – Analysis», *IEA*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019> (accedido mar. 12, 2020).
- [4] E.-E. E. Portal, «Smart Grid Concept and Characteristics», *EEP - Electrical Engineering Portal*, mar. 21, 2012. <https://electrical-engineering-portal.com/smart-grid-concept-and-characteristics> (accedido mar. 14, 2020).
- [5] «DSO • SMARTGRIDSINFO», *SMARTGRIDSINFO*. <https://www.smartgridsinfo.es/dso> (accedido mar. 14, 2020).
- [6] «TSO • SMARTGRIDSINFO», *SMARTGRIDSINFO*. <https://www.smartgridsinfo.es/tso> (accedido mar. 14, 2020).
- [7] «TSOs-DSOs to continue cooperation for smarter electricity grids | E.DSO». <https://www.edsoforsmartgrids.eu/tsos-dsos-to-continue-cooperation-for-smarter-electricity-grids/> (accedido mar. 14, 2020).
- [8] S. Vadi, Bayindir, Colak, y E. Hossain, «A Review on Communication Standards and Charging Topologies of V2G and V2H Operation Strategies», *Energies*, vol. 12, p. 3748, sep. 2019, doi: 10.3390/en12193748.
- [9] «Toyota Develops System that Enables Electric Vehicles To Power Your Home». <https://inhabitat.com/toyota-develops-system-that-enables-electric-vehicles-to-power-your-home/> (accedido mar. 29, 2020).
- [10] «Toyota Develops System that Enables Electric Vehicles To Power Your Home». <https://inhabitat.com/toyota-develops-system-that-enables-electric-vehicles-to-power-your-home/> (accedido mar. 29, 2020).
- [11] C. Liu, K. T. Chau, D. Wu, y S. Gao, «Opportunities and Challenges of Vehicle-to-Home, Vehicle-to-Vehicle, and Vehicle-to-Grid Technologies», *Proc. IEEE*, vol. 101, n.º 11, pp. 2409-2427, nov. 2013, doi: 10.1109/JPROC.2013.2271951.
- [12] «Elektrische auto als middel tegen balans-hoofdpijn», *EVConsult*, nov. 01, 2018. <https://www.evconsult.nl/elektrische-auto-als-middel-tegen-balans-hoofdpijn/> (accedido abr. 09, 2020).
- [13] «The V2G Concept: A New Model For Power?», p. 9.
- [14] «Memoria%2F1.+Introducción%2F1.Introducción.pdf». Accedido: mar. 27, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4784/fichero/Memoria%252F1.+Introducci%C3%B3n%252F1.Introducci%C3%B3n.pdf>.
- [15] Y. Zheng, S. Niu, Y. Shang, Z. Shao, y L. Jian, «Integrating plug-in electric vehicles into power grids: A comprehensive review on power interaction mode, scheduling methodology and mathematical foundation», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 112, pp. 424-439, sep. 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.05.059.
- [16] «Integrating plug-in electric vehicles into power grids_ A comprehensive review on power interaction mode, scheduling methodology and mathematical foundation | Elsevier Enhanced Reader». <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S136403211930382X?token=1917819BD1EA9E1A88A8F895B86A99801EF8EB2496B2652F8884266B7DCEA0CC55FBEBAD21F3262962FD109890BC1045> (accedido mar. 26, 2020).
- [17] Anonymous, «Marco sobre clima y energía para 2030», *Acción por el Clima - European Commission*, nov. 23, 2016. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_es (accedido

mar. 23, 2020).

[18] J. A. P. Lopes, F. J. Soares, y P. M. R. Almeida, «Integration of Electric Vehicles in the Electric Power System», *Proc. IEEE*, vol. 99, n.º 1, pp. 168-183, ene. 2011, doi: 10.1109/JPROC.2010.2066250.

[19] W. Zhang, K. Spence, R. Shao, y L. Chang, «Optimal Scheduling of Spinning Reserve and User Cost in Vehicle-to-Grid (V2G) Systems», en *2018 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, sep. 2018, pp. 1058-1064, doi: 10.1109/ECCE.2018.8558391.

[20] W. Zhang, C. Dreise, R. Shao, y L. Chang, «An improved minimum-cost charging schedule for large-scale penetration of electric vehicles», en *2018 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, mar. 2018, pp. 3411-3417, doi: 10.1109/APEC.2018.8341593.

[21] «Review of research on V2X technologies, strategies, and operations | Elsevier Enhanced Reader».

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1364032119300516?token=5FA34444135ABEBC98F31E423E074AD01646659FBC0B8EEF1C205C9F53D4B352915B31FDD92BC7BB8C395E79E3A2914A> (accedido mar. 28, 2020).

[22] «Chapter 17 - Electric Vehicles: New Problem or Distributed Energy Asset? | Elsevier Enhanced Reader».

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/B9780128002407000175?token=C40A89C0337EBDF8A568402AE13311AFDA63035CBCBF30C25E670259541A31920B12BA175F9F6AB01529C6595BD6360C> (accedido mar. 28, 2020).

[23] C. Gong *et al.*, «Study on the impacts and analysis of EV and PV integration into power systems», en *2015 5th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT)*, nov. 2015, pp. 2454-2458, doi: 10.1109/DRPT.2015.7432658.

[24] G. G. Martínez, «V2G, gana dinero con tu vehículo eléctrico», *Movilidad Eléctrica*, sep. 01, 2017. <https://movilidadelectrica.com/v2g-gana-dinero-vehiculo-electrico/> (accedido mar. 24, 2020).

[25] M. Yilmaz y P. T. Krein, «Review of the Impact of Vehicle-to-Grid Technologies on Distribution Systems and Utility Interfaces», *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 28, n.º 12, pp. 5673-5689, dic. 2013, doi: 10.1109/TPEL.2012.2227500.

[26] «Evaluating the impact of V2G services on the degradation of batteries in PHEV and EV | Elsevier Enhanced Reader».

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0306261913004121?token=F95D471AC4673E89239FF7D538BF6A9920217F0BD359B70E53A70203D34705E73E9118E3BBDEFEBBC064F88D87A0BA5E6> (accedido mar. 15, 2020).

[27] «A fuzzy approach to construction project risk assessment | Elsevier Enhanced Reader». <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0263786310000268?token=4FB6EE98C73EA21192410AC388163D66C95B58214508CD06A11B4185D3E91FFF6FF251A8F93E0FE10ED11A7333037BC9> (accedido abr. 07, 2020).

