



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

Computación en la nube para impulsar la movilidad eléctrica

Autor:

D. David Fernández Farto

Tutor:

D. David González Ortega

Valladolid, enero de 2024

TÍTULO: **Computación en la nube para impulsar la movilidad eléctrica**

AUTOR: **D. David Fernández Farto**

TUTOR: **D. David González Ortega**

DEPARTAMENTO: **Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones e Ingeniería Telemática**

Tribunal

PRESIDENTE: **Dña. María Ángeles Pérez Juárez**

SECRETARIO: **Dña. Míriam Antón Rodríguez**

VOCAL: **D. Javier Manuel Aguiar Pérez**

FECHA:

CALIFICACIÓN:

Resumen

La creciente preocupación por el cambio climático, el progresivo agotamiento de las fuentes de combustibles fósiles y el aumento de las restricciones de circulación en grandes núcleos urbanos han puesto contra las cuerdas a los vehículos de combustión interna. Conseguir una movilidad más sostenible, así como más inteligente, se ha convertido en uno de los principales retos del siglo XXI. A lo largo del presente Trabajo Fin de Máster se realiza una revisión sistemática de la literatura sobre la intersección entre la computación en la nube y la industria automotriz, con el objetivo de demostrar que esta tecnología puede ser un pilar clave en la transformación de la movilidad moderna.

El trabajo comienza con el estudio de las redes vehiculares y de la computación en la nube para, a continuación, profundizar sobre cómo a raíz de la unión de estos paradigmas se puede conseguir que los vehículos conectados puedan acceder a servicios basados en la nube, como información de tráfico en tiempo real, sistemas de navegación mejorados o actualizaciones de software, con los que conseguir mejorar la experiencia del usuario a la par que contribuir a lograr una conducción más segura y eficiente.

Sin la electrificación de la movilidad resulta imposible pensar en un modelo real de sostenibilidad. El tema central del trabajo gira en torno a aprovechar las características de la computación en la nube para optimizar el funcionamiento de los vehículos eléctricos y de la infraestructura de carga existente y, con ello, hacer frente a los dos principales desafíos a los que se enfrentan este tipo de vehículos, su integración en la red eléctrica y el rechazo de la sociedad debido a su limitada autonomía. El documento concluye con la presentación y explicación de una serie de soluciones, con su correspondiente análisis de viabilidad.

Palabras clave

Redes vehiculares, computación en la nube, vehículos eléctricos, V2G

Abstract

Growing concerns about climate change together with the gradual depletion of fossil fuel sources and the increasing restrictions on traffic in large urban centers have cornered internal combustion vehicles. Achieving more sustainable and intelligent mobility has become one of the main challenges of the 21st century. Throughout this Master's Thesis, a systematic literature review of the intersection between cloud computing and the automotive industry is carried out, with the aim of proving that this technology can be a key pillar in the transformation of modern mobility.

The paper begins with a study of vehicular networks and cloud computing, and then explores how bringing these paradigms together can enable connected vehicles to access cloud-based services, such as real-time traffic information, enhanced navigation systems or software updates, to improve the user experience and contribute to safer and more efficient driving.

It is impossible to envision a real sustainability model without the electrification of mobility. The central theme of the work revolves around harnessing the characteristics of cloud computing to optimise the operation of electric vehicles and the existing charging infrastructure and, in doing so, addresses the two main challenges faced by these vehicles, their integration into the electricity grid and the rejection of society due to their limited autonomy. The document concludes with the presentation and explanation of a variety of solutions, with their corresponding feasibility analysis.

Keywords

Vehicular networks, cloud computing, electric vehicles, V2G

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Objetivos	4
1.3. Metodología	4
1.4. Estructura del documento	7
2. Tecnologías sobre las que se asienta el paradigma de computación en la nube para vehículos	8
2.1. Redes <i>ad hoc</i>	8
2.2. Redes móviles <i>ad hoc</i>	11
2.3. Redes vehiculares <i>ad hoc</i>	12
2.4. Computación en la nube	16
2.5. Computación en la nube móvil	24
2.6. Computación en el borde y computación en la niebla	26
3. Computación en la nube, en el borde y en la niebla aplicada al mundo vehicular	32
3.1. Vehículos inteligentes	32
3.2. Computación en la nube para vehículos	34
3.2.1. Arquitectura	35
3.2.2. Servicios	37
3.2.2.1. Computación como servicio	37
3.2.2.2. Almacenamiento como servicio	39
3.2.2.3. Red como servicio	41
3.2.2.4. Aplicación como servicio	42
3.3. Computación en el borde y en la niebla para vehículos	43
3.3.1. Arquitectura	45
3.3.2. Servicios	46
4. Computación en la nube aplicada al mundo vehicular eléctrico	48
4.1. Vehículos eléctricos	48
4.1.1. Tipos de vehículos eléctricos	49
4.1.2. Componentes de los coches eléctricos	50
4.2. Computación en la nube para vehículos eléctricos	52
4.2.1. Soluciones para reducir la ansiedad de la autonomía	53
4.2.1.1. Monitorización de un sistema de batería	56

4.2.1.2.	Implementación de un BMS en la nube	59
4.2.1.3.	Estimación de la autonomía restante	64
4.2.1.4.	Compartición inalámbrica de energía entre vehículos	65
4.2.1.5.	<i>Blockchain</i> como método de seguridad	68
4.2.1.6.	Análisis de la viabilidad de las soluciones planteadas	71
4.2.2.	Soluciones para la integración de los vehículos eléctricos en la red eléctrica	72
4.2.2.1.	Computación en la nube como tecnología de apoyo a la red eléctrica inteligente	76
4.2.2.2.	Computación en la nube y V2G como tecnologías para gestionar los vehículos eléctricos en la red eléctrica inteligente .	83
4.2.2.3.	Análisis de la viabilidad de las soluciones planteadas	90
5.	Conclusiones	95
5.1.	Obstáculos encontrados	96
5.2.	Líneas futuras	97
	Bibliografía	100
	Referencias	100

Índice de figuras

2.1.	Tecnologías precursoras de la computación en la nube para vehículos	9
2.2.	Red inalámbrica basada en infraestructura frente a red inalámbrica <i>ad hoc</i> . . .	9
2.3.	Rangos de transmisión de los nodos en una red <i>ad hoc</i>	10
2.4.	Red vehicular <i>ad hoc</i>	13
2.5.	Tipos de nubes	17
2.6.	Responsabilidades en cada modelo de servicio de la computación en la nube . .	21
2.7.	Responsabilidades en cada modelo de servicio de la computación en la nube trasladados al proceso de comerse una pizza	22
2.8.	Arquitectura del paradigma de computación en la nube móvil	25
2.9.	Arquitectura del paradigma de computación en el borde de la red	27
2.10.	Arquitectura del paradigma de computación en la niebla	28
2.11.	Arquitectura híbrida de los paradigmas de computación en la nube, en el borde y en la niebla	30
2.12.	Ejemplo en un hotel de una arquitectura híbrida de los paradigmas de computación en la nube, en el borde y en la niebla	31
3.1.	Componentes tecnológicos de un vehículo inteligente	33
3.2.	Paradigma de la computación en la nube para vehículos	35
3.3.	Arquitectura de la computación en la nube para vehículos	36
3.4.	Modelo de computación como servicio en el paradigma de computación en la nube para vehículos	38
3.5.	Modelo de almacenamiento como servicio en el paradigma de computación en la nube para vehículos	39
3.6.	Modelo de red como servicio en el paradigma de computación en la nube para vehículos	41
3.7.	Paradigma de computación en el borde o en la niebla para vehículos	46
4.1.	Funcionamiento eléctrico de un coche con motor eléctrico de corriente alterna .	51
4.2.	Funcionamiento eléctrico de un coche con motor eléctrico de corriente continua	51
4.3.	Puntos de recarga de acceso público para vehículos eléctricos en España	54
4.4.	Arquitectura del sistema propuesto para almacenar y analizar en la nube mediciones de sistemas estacionarios y móviles	56
4.5.	Aplicación web para el análisis en tiempo real	58
4.6.	Funcionamiento de un BMS tradicional	60
4.7.	Funcionamiento de un BMS basado en nube	60

4.8. Esquema del BMS en la nube	61
4.9. Esquema del BMS en la nube implementado	63
4.10. Funcionamiento en una estrategia P2C2	66
4.11. Arquitectura de baterías multinivel	67
4.12. Análisis de la efectividad de una estrategia P2C2	67
4.13. Arquitectura de red de la computación EVCE	69
4.14. Esquema de la red eléctrica tradicional en España	73
4.15. Arquitectura global de la <i>Smart Grid</i> : red eléctrica y red de comunicaciones	75
4.16. Modelo de gestión de la información de la <i>Smart Grid</i> basado en servicios en nube	78
4.17. Subdominios de la <i>Smart Grid</i>	79
4.18. Marco de trabajo para contadores inteligentes en la nube	82
4.19. Ilustración del concepto de uso de la tecnología V2G a lo largo del día	86
4.20. Arquitectura distribuida basada en nube para la integración de los vehículos eléctricos en la <i>Smart Grid</i>	88
4.21. Diagrama de intercambio de mensajes en una arquitectura distribuida basada en nube para la integración de los vehículos eléctricos en la <i>Smart Grid</i>	89
4.22. Impacto de los vehículos eléctricos en la red eléctrica utilizando o no una arquitectura distribuida basada en nube	90
4.23. Proyectos V2G a lo largo del planeta	92
4.24. Funcionamiento de GIVe	93

Índice de tablas

1.1.	Resultados de la búsqueda de “Título: <i>vehicular cloud computing</i> ” y “Contiene la palabra: <i>services</i> ”	6
1.2.	Resultados de la búsqueda de “Título: <i>vehicular cloud computing</i> ” y “Título: <i>services</i> ”	6
2.1.	Diferencias entre los modelos de servicio de la computación en la nube	21
2.2.	Comparativa entre los paradigmas de computación en la nube, en la niebla y en el borde	29
3.1.	Comparativa entre los paradigmas de computación en la nube, computación en la nube móvil y computación en la nube para vehículos	36
3.2.	Comparativa entre los paradigmas de computación en la nube para vehículos y computación en la niebla o en el borde para vehículos	45
4.1.	Ejemplos de aplicaciones de la computación en la nube en el mundo vehicular eléctrico para reducir la “ansiedad de la autonomía”	56
4.2.	Resumen de aplicaciones de computación en la nube para la red eléctrica inteligente	78

Capítulo 1

Introducción

Durante los últimos años, los avances en sistemas embebidos y en tecnologías de comunicación han permitido que el Internet de las Cosas o IoT (*Internet of Things*) invada la sociedad. Básicamente, el IoT es una red de dispositivos conectados que pueden recopilar y compartir datos entre sí. Dichos dispositivos se caracterizan por estar equipados con alguna tecnología de comunicación inalámbrica, como puede ser Bluetooth o WiFi, que les permite conectarse a Internet y comunicarse entre sí. El objetivo es conseguir que cualquier objeto pueda ser más inteligente y útil, desde un simple cepillo de dientes hasta la máquina más compleja. Esto se ha extendido también hasta la industria de la automoción, en donde han surgido los primeros vehículos llamados “inteligentes”.

Los vehículos inteligentes pueden definirse como aquellos que incorporan tecnologías que les dotan de la capacidad de tomar decisiones en base a la información que recogen del entorno. Estas funcionalidades persiguen mejorar la seguridad en las carreteras, aumentar la eficiencia del tráfico e incrementar el ahorro de combustible, entre otros muchos aspectos. El cambio de marchas automático o la conducción asistida son ejemplos de conducción inteligente que ya realizan la mayoría de coches modernos.

Con la aparición de los vehículos inteligentes, las redes vehiculares se han convertido en un campo de investigación de gran interés, puesto que permiten a los vehículos inteligentes comunicarse entre sí y con la infraestructura de transporte, por ejemplo, para intercambiar información en tiempo real sobre el estado de una carretera, la situación del tráfico o la climatología. En los próximos años, se espera que los vehículos dispongan cada vez de más sistemas de comunicación y de más componentes informáticos a bordo, así como de una mayor capacidad de almacenamiento o de detección. A raíz de esto, han surgido diferentes tecnologías con el objetivo de mantener y promover los sistemas inteligentes de transporte.

Una de estas soluciones es la conocida como computación en la nube para vehículos o VCC (*Vehicular Cloud Computing*). Este paradigma hace referencia a la utilización de servicios de computación en la nube con el fin de proporcionar nuevas funcionalidades a los vehículos. Esto puede incluir servicios de navegación, entretenimiento, diagnóstico y seguridad. El uso de

servicios de computación en la nube puede tanto reducir costos como aumentar la eficiencia para los fabricantes de vehículos al eliminar la necesidad de hardware costoso y actualizado en cada vehículo. También sirve para mejorar la velocidad con la que se pueden introducir nuevas funcionalidades. Además, la computación en la nube para vehículos proporciona una mayor seguridad y privacidad, debido a que los datos se almacenan en servidores remotos, en lugar de en el vehículo. Esto último facilita a los fabricantes el cumplimiento de leyes y regulaciones relativas a la protección de datos.

1.1. Planteamiento del problema

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) prevé que en 2050 la población mundial ascenderá a 9000 millones de habitantes, de los cuales el 70 % vivirá en centros urbanos. Teniendo en cuenta que las metrópolis consumen ya más del 75 % de la producción de energía mundial y que generan el 60 % de las emisiones de gases de efecto invernadero, muchas urbes han apostado por transformarse digitalmente para dar respuesta a algunos de los grandes desafíos globales: aumento de la población, polución, escasez de recursos, gestión del agua o eficiencia energética (Iberdrola, s.f.). Así es como surgió el término de ciudad inteligente o, más conocido por su traducción al inglés, *smart city*.

Una ciudad inteligente puede definirse como aquella que utiliza la tecnología para garantizar la sostenibilidad a la par que para la mejora de la calidad de vida de sus habitantes. Generalmente, esto está asociado a una serie de iniciativas, como la utilización de sensores y dispositivos IoT para la recopilación de datos, la implementación de sistemas de información en tiempo real para brindar información útil a la población, la creación de infraestructura inteligente para mejorar el uso de los recursos disponibles o el fomentar un uso sostenible del transporte mediante la promoción de medios de transporte alternativos y la reducción del tráfico vehicular.

Impulsar una movilidad inteligente y sostenible se ha convertido en uno de los principales objetivos de las *smart cities*. Para lograrlo, se trabaja en cuatro aspectos básicos: el impulso de los desplazamientos a pie, la bicicleta, el transporte público y la electromovilidad. El primero de ellos, peatonalizando y facilitando la llegada a los lugares caminando; el segundo, fomentando los desplazamientos en bici de manera cómoda, rápida y segura; el tercero de ellos, mejorando el acceso y las condiciones del transporte público urbano y, por último, pero no menos importante y compatible con todos ellos, la movilidad eléctrica.

Sin la electrificación de la movilidad resulta imposible pensar en un modelo real de sostenibilidad. Los vehículos eléctricos se han convertido en un punto central en el debate sobre el cambio climático. Ofrecen un medio de transporte mucho más limpio y ecológico, pero plantean numerosos retos en cuanto a la eficiencia, el almacenamiento de energía y la gestión energética. Por estos motivos, se hace necesario integrar una plataforma informática inteligente con los sistemas de gestión para satisfacer las necesidades dinámicas de carga de los vehículos eléctricos y mantener el equilibrio entre la oferta y la demanda. En este sentido, la computación en la nube es la llave que puede satisfacer los requisitos dinámicos de los vehículos eléctricos.

La electrificación del transporte se considera una de las principales vías para lograr reducciones significativas de emisiones de dióxido de carbono. El progresivo agotamiento de las fuentes de combustibles fósiles y la creciente preocupación por el cambio climático ha puesto contra las cuerdas a los motores de combustión. Un reciente informe de investigación de la Unión Europea reveló que, aproximadamente, el 27 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) procedían del sector de transporte, de las cuales más de un 70 % provenían de vehículos de motor (Yang et al., 2021).

Diferentes gobiernos y organismos internacionales han puesto en marcha planes con el principal objetivo de reducir las emisiones de gases causantes del llamado efecto invernadero y de fomentar el desarrollo sostenible. La cumbre más importante y más reciente relacionada con el cambio climático se celebró en París en 2015, donde se acordaron una serie de medidas con el principal objetivo de limitar a 1,5°C el aumento de la temperatura global (Greenpeace, 9 de diciembre de 2020). Dicho incremento de temperatura es considerablemente alto si se tiene en cuenta que el aumento de la temperatura global durante los últimos 100 años ha sido de 0,76°C (Gobierno de Aragón, s.f.).

En España, la Dirección General de Tráfico (DGT) elaboró en el año 2019 una lista de distintivos medioambientales para clasificar a cada vehículo en función de sus niveles de emisión de gases, con el objetivo de castigar a los vehículos más contaminantes para, a su vez, incentivar la compra de vehículos híbridos y eléctricos (Dirección General de Tráfico, 18 de noviembre de 2020). Dos años más tarde, en 2021, se aprobaría la Ley de Cambio Climático y Transición Energética, en la que se afirma que se adoptarán las medidas necesarias para que a partir de 2040 no se puedan vender vehículos de combustión (Jefatura del Estado, 21 de Mayo de 2021). A día de hoy, todo apunta a que dichas medidas entrarán en vigor antes de esta fecha, puesto que el Parlamento Europeo aprobó, el pasado 13 de Febrero de 2023, una propuesta de la Comisión Europea para prohibir, en todo el territorio de la Unión Europea, la venta de coches que generen emisiones de cualquier tipo en el año 2035 (Dalmau, 14 de febrero de 2023).

Sin embargo, la adopción masiva de vehículos eléctricos se enfrenta a un gran desafío, que es la integración en la red eléctrica. La electricidad es el recurso energético más empleado en la actualidad y su consumo va en constante aumento, sin indicios de que este vaya a disminuir en un futuro próximo. Según el portal de estadísticas Enerdata, el consumo global de electricidad, que había retrocedido un 0.7 % por la crisis de la COVID-19, creció un 5.5 % en 2021, lo que se traduce en un aumento del 4.8 % respecto a su nivel de 2019 (Enerdata, s.f.). De cara al futuro, según un informe de Bloomberg, se espera que la demanda mundial de electricidad aumente en un 57 % para 2050 (BloombergNEF, s.f.), por lo que se necesitan urgentemente soluciones energéticas inteligentes que faciliten un consumo más eficiente de la electricidad.

Si de por sí la red eléctrica está ya operando cerca de sus límites de funcionamiento, la irrupción de los coches eléctricos, con sus cambiantes demandas de carga en función de la hora del día, supone añadir aún más tensión a la red eléctrica.

La computación en la nube, con su enorme capacidad de computación y almacenamiento de datos y sus características distribuidas, puede ayudar a la red eléctrica a mejorar el manejo

de la energía y a gestionar a los usuarios de los coches eléctricos considerando las limitaciones energéticas existentes en cada determinado instante de tiempo.

Más allá del tema medioambiental, incentivar la compra de vehículos menos contaminantes supone, intrínsecamente, modernizar el parque vehicular. Los vehículos antiguos son los que más contaminan, pero también son los más peligrosos en cuanto a seguridad vial se refiere. En España, la edad media del parque de automóviles alcanzó los 13,49 años de antigüedad en 2021, situándose por encima de la media europea de 11,5 años (Portal Movilidad España, 11 de agosto de 2022).

A pesar de las numerosas y evidentes ventajas de adquirir un vehículo más moderno y menos contaminante, la sociedad se sigue mostrando reticente a la adopción de vehículos eléctricos, desmotivada tanto por un alto coste económico de adquisición como por la vulgarmente conocida como “ansiedad de la autonomía”. Este término hace referencia a la preocupación de los consumidores acerca de diferentes aspectos relacionados con las baterías, como la autonomía limitada, la demora de las recargas o la falta de estaciones de carga.

1.2. Objetivos

La computación en la nube es una tecnología emergente que está transformando la forma en que los vehículos inteligentes y eléctricos se comunican y se utilizan. El presente Trabajo Fin de Máster tiene como objetivo final dar a conocer cómo la computación en la nube aplicada al mundo vehicular puede ayudar a conseguir que el predominio de los vehículos eléctricos sea una realidad. Para alcanzar este propósito principal, se plantean una serie de objetivos parciales:

- Realizar un análisis en profundidad de las características de una red vehicular
- Contextualizar a raíz de qué tecnologías surge la VCC
- Desarrollar un estudio exhaustivo de la VCC
- Presentar las tecnologías derivadas de la VCC
- Aportar unas nociones básicas sobre los vehículos eléctricos
- Demostrar cómo la computación en la nube puede ayudar a impulsar la electromovilidad

1.3. Metodología

El método de trabajo empleado para la búsqueda de la información se ha basado en una revisión sistemática, que es un método científico para recopilar y analizar de manera rigurosa toda la evidencia disponible sobre una pregunta de investigación específica. En una revisión sistemática, se realizan búsquedas exhaustivas en múltiples bases de datos y otras fuentes

relevantes para identificar todos los estudios relevantes que se han realizado sobre el tema de interés.

Para llevar la revisión sistemática a cabo, se empezó por determinar qué es lo que se quería buscar, dónde se quería buscar y cómo se iba a buscar. Por tanto, en primer lugar, se definieron los temas de interés que se querían tratar en base a los objetivos mencionados anteriormente:

- Computación en la nube
- Tecnologías anteriores y derivadas de la computación en la nube
- Computación en la nube aplicada al mundo vehicular
- Tecnologías anteriores y derivadas de la computación en la nube aplicada al mundo vehicular
- Vehículos inteligentes
- Computación en la nube aplicada al mundo de los vehículos eléctricos
- Tecnologías anteriores y derivadas de la computación en la nube aplicada al mundo vehicular eléctrico
- Vehículos eléctricos

En segundo lugar, se seleccionaron las bases de datos de investigación a explorar:

- IEEE Xplore
- Elsevier ScienceDirect
- Nature
- Springer
- Wiley

En tercer y último lugar, se estableció cómo se iba a proceder en la búsqueda. Con la finalidad de garantizar la actualidad de la información consultada, se puso el foco en publicaciones con una antigüedad no mayor de diez años, por lo que se consideró oportuno acotar la búsqueda a artículos científicos publicados entre 2013 y 2023. Sin embargo, alguna de las referencias incluidas en la bibliografía data de una fecha anterior o proceden de otras fuentes, debido a la calidad de su contenido.

Las bases de datos mencionadas ofrecen la posibilidad de realizar búsquedas avanzadas atendiendo a diferentes criterios, como fecha de publicación, área de estudio, tipo de publicación

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

o contenido de palabras claves. El filtro de palabras clave ha sido el de más provecho para el trabajo realizado. A continuación, se comenta un caso de uso.

Por ejemplo, para encontrar información sobre los servicios de la computación en la nube para vehículos, se empezó por buscar aquellos artículos científicos publicados entre 2013 y 2023 que en su título contuvieran el término "computación en la nube para vehículos" (*vehicular cloud computing*) y que en su contenido apareciera el término "servicios" (*services*). La Tabla 1.1 muestra el número de resultados obtenidos en cada una de las bases de datos analizadas afines a este filtrado.

Tras ver que el número de resultados arrojados era alto, se realizó una nueva búsqueda más restrictiva, en la cual el término servicios tuviera que aparecer en el título. La Tabla 1.2 muestra los resultados de esta segunda búsqueda. Ahora sí resultaba abordable leerse los artículos obtenidos. En el caso del de Elsevier, con tan solo leer el título, "A real-time parking service with proxy re-encryption in vehicular cloud computing", se podía descartar su lectura, puesto que se trataba de un ejemplo concreto de un servicio y el objetivo era encontrar información general sobre los diferentes tipos de servicio. Lo mismo ocurría con el resultado obtenido en ACM, titulado "Providing Trust Enabled Services in Vehicular Cloud Computing", en el que se presentaban métodos para añadir seguridad a los servicios. En el caso de los dos resultados arrojados en Springer, sí que uno coincidía justo con lo que se estaba buscando, "Services and simulation frameworks for vehicular cloud computing: a contemporary survey", en base al cual se redactó el apartado 3.2.2. El otro título encontrado en esta base de datos era "Increasing the quality of services and resource utilization in vehicular cloud computing using best host selection methods".

Base de datos	Número de resultados
IEEE Xplore	18
Elsevier ScienceDirect	14
Springer Link	21
Wiley Online Library	22
ACM Digital Online Library	5

Tabla 1.1: Resultados de la búsqueda de "Título: *vehicular cloud computing*" y "Contiene la palabra: *services*".

Base de datos	Número de resultados
IEEE Xplore	0
Elsevier ScienceDirect	1
Springer Link	2
Wiley Online Library	0
ACM Digital Online Library	1

Tabla 1.2: Resultados de la búsqueda de "Título: *vehicular cloud computing*" y "Título: *services*".

1.4. Estructura del documento

El documento se estructura en cinco capítulos, siendo este el primero de ellos. El segundo capítulo presenta una serie de tecnologías previas a la VCC que incentivaron la utilización de la computación en la nube en el ámbito vehicular. El tercer capítulo se centra en cómo es esa utilización, detallando las características y propiedades del paradigma de la VCC, así como sus aplicaciones y servicios. En el cuarto capítulo se pone de manifiesto cómo la computación en la nube puede ayudar dentro del ámbito de la electromovilidad. Por último, el quinto capítulo recoge una serie de conclusiones y de propuestas para posibles estudios futuros relacionados.

Capítulo 2

Tecnologías sobre las que se asienta el paradigma de computación en la nube para vehículos

El diagrama de la Figura 2.1 trata de ilustrar la relación existente entre los diferentes paradigmas que han influenciado el nacimiento de la VCC. Las tecnologías enmarcadas en la rama izquierda del esquema presentan como denominador común el término *ad hoc*, mientras que las tecnologías situadas en la zona derecha del diagrama tienen como punto de partida la computación en la nube.

2.1. Redes *ad hoc*

La expresión *ad hoc* es una locución latina utilizada para referirse a algo pensado especialmente para un fin determinado (Real Academia Española, s.f.). Aplicado a las redes informáticas, que una red sea *ad hoc* viene a significar que se trata de una red inalámbrica sin una infraestructura preexistente (Dipobagio, 2009).

Una forma sencilla de entender las redes *ad hoc* es realizar una comparativa con las redes inalámbricas basadas en infraestructura. Según su sistema de arquitectura, las redes inalámbricas se pueden dividir entre las que tienen infraestructura y las que no, siendo en estas últimas entre las que se incluyen las redes *ad hoc*. La mayor diferencia entre ellas es que la red basada en infraestructura consiste en un punto de acceso con nodos, Figura 2.2a, mientras que la red *ad hoc* se compone únicamente de nodos, Figura 2.2b.

En las redes inalámbricas basadas en infraestructura el punto de acceso establece un área de red, de forma que solo los nodos que se encuentran dentro de esa área pueden hacer uso de los servicios del punto de acceso. Para la comunicación, el punto de acceso ejerce siempre de intermediario. En caso de que el nodo de destino se encuentre en la misma área de red

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS SOBRE LAS QUE SE ASIENTA EL PARADIGMA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA VEHÍCULOS

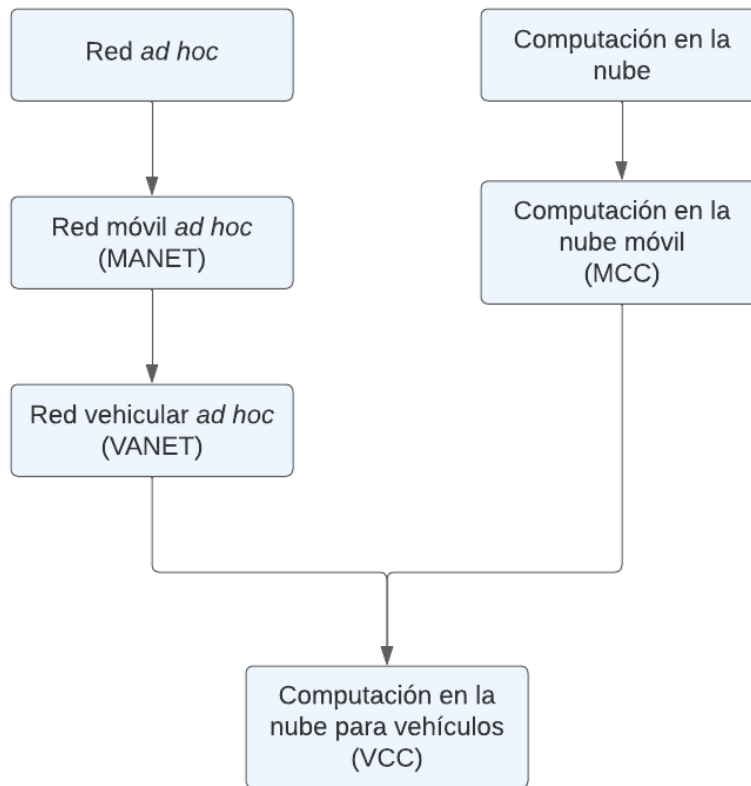


Figura 2.1: Tecnologías precursoras de la computación en la nube para vehículos.

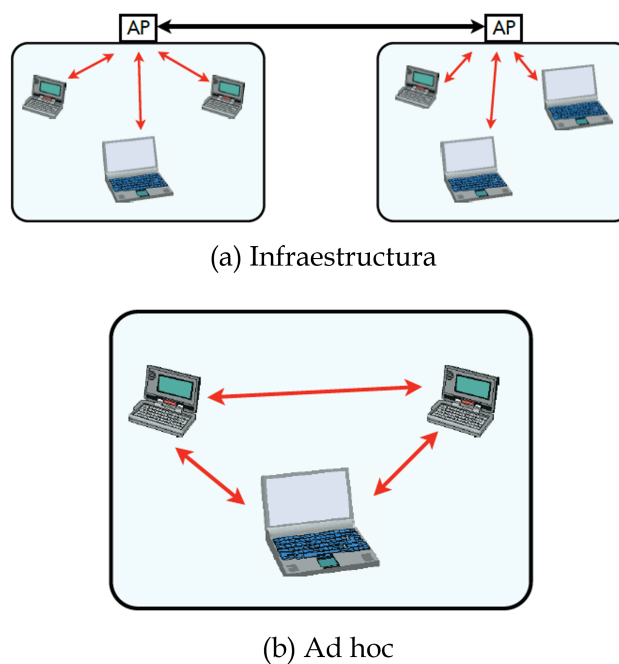


Figura 2.2: Red inalámbrica basada en infraestructura frente a red inalámbrica *ad hoc* (Dipobagio, 2009).

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS SOBRE LAS QUE SE ASIENTA EL PARADIGMA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA VEHÍCULOS

que el nodo emisor, el punto de acceso retransmite la información recibida del nodo emisor directamente al nodo de destino. En caso de que los nodos participantes de la comunicación estén situados en áreas de red diferentes, el punto de acceso del área en el que se encuentra el nodo emisor se pondrá en contacto con el punto de acceso del área en el que esté situado el nodo receptor para lograr que la comunicación se haga efectiva. El problema está en que, si un punto de acceso falla, todos los nodos bajo esa área de red quedan completamente incomunicados.

Las redes *ad hoc* son redes inalámbricas, distribuidas y descentralizadas, formadas por un conjunto de nodos inalámbricos que se comunican directamente a través de un canal inalámbrico común. No se requiere de ningún tipo de infraestructura, como puedan ser estaciones base o puntos de acceso. Este es el principal atractivo de este tipo de redes, puesto que la sencillez de su despliegue resulta ideal en situaciones de emergencia como, por ejemplo, misiones de rescate.

Los nodos de las redes *ad hoc* están equipados con transceptores inalámbricos. De esta forma, cada nodo, además de actuar como elemento final del sistema, puede actuar como *router*, por lo que los nodos son capaces de organizar sus propias redes. Como un nodo solo puede comunicarse con los nodos de dentro de su rango de transmisión, en las redes *ad hoc* la comunicación se realiza de una forma diferente a la vista para las redes basadas en infraestructura. Dada una red como la de la Figura 2.3, N5 se encuentra fuera del rango de transmisión de N1. Si N1 quiere comunicarse con N5, el mensaje llegará salto a salto a través de N4, N2, N3 y N5 o, directamente, por medio de N2, N3 y N5. Esta forma de distribución de mensajes hace que las redes *ad hoc* sean más robustas que las basadas en infraestructura, puesto que no existe un punto crítico de fallo. Por contra, esto supone un mayor grado de complejidad a la hora del enrutamiento, por lo que la implementación de un algoritmo de enrutamiento apropiado para que el proceso de transmisión de datos sea efectivo es crucial.

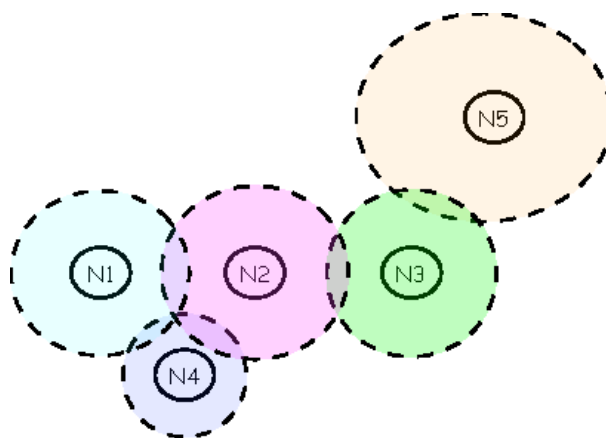


Figura 2.3: Rangos de transmisión de los nodos en una red *ad hoc* (Dipobagio, 2009).

Vistas las propiedades de las redes *ad hoc*, se pueden intuir algunas de las razones para optar por una red inalámbrica de estas características. A continuación, se enumeran las tres principales ventajas que ofrecen:

- Independencia de una infraestructura: depender de una infraestructura supone, por un lado,

contar con un punto crítico de fallo y, por otro lado, gastos económicos, puesto que tanto la instalación como el mantenimiento de la infraestructura acarrearán unos costes.

- **Facilidad del despliegue:** solo los dispositivos finales son necesarios para establecer una red *ad hoc*.
- **Robustez:** como se ha comentado previamente, las redes *ad hoc* son inherentemente robustas. Si un nodo dejara de funcionar no supondría ningún contratiempo para el resto de los nodos, a menos que ese nodo fuera el único camino para la comunicación de otros dos nodos.

Ni las redes *ad hoc* ni las redes basadas en infraestructura están exentas de los inconvenientes que introduce la propia naturaleza de los enlaces inalámbricos, que afecta, por ejemplo, a la tasa de error y a la de transmisión. A diferencia de las transmisiones por cable, las transmisiones inalámbricas son muy propensas a las interferencias y la velocidad de transmisión es menor. Además, requieren de una mayor seguridad, debido a que el canal inalámbrico es accesible tanto para usuarios legítimos de la red como para atacantes maliciosos. Ante esto, en el caso de las redes *ad hoc*, la ausencia de infraestructura supone una desventaja, puesto que no existe ningún punto de control central (Dipobagio, 2009).

2.2. Redes móviles *ad hoc*

El principal interés en las redes *ad hoc* recae sobre las redes móviles *ad hoc* o MANETs (*Mobile Ad hoc NETWORKS*). Como la propia palabra móvil indica, se diferencian de las redes *ad hoc* tradicionales por la movilidad de sus nodos, los cuales pueden estar dinámicamente conectados de forma arbitraria. Esto supone una gran ventaja a añadir a las vistas previamente para las redes *ad hoc* tradicionales y hace que las MANETs sean muy adecuadas para situaciones como las que se enuncian a continuación:

- **Uso militar:** en el campo de batalla los soldados necesitan de un dispositivo de comunicación que les permita moverse libremente sin ninguna de las restricciones que supone un dispositivo de comunicación por cable. De hecho, las redes *ad hoc* fueron concebidas por primera vez para su uso en el ámbito militar. Al equipar a cada soldado con un transceptor, aunque el rango de transmisión del transmisor solo permita alcanzar a unos pocos soldados, la capacidad de retransmitir mensajes hace que todos los soldados queden perfectamente comunicados, formando una red *ad hoc* (Kempton y Letendre, 1997) (Chakraborty et al., 2022).
- **Misiones de rescate o emergencia:** al no requerir de infraestructura, las redes *ad hoc* se pueden desplegar de forma sencilla. Sucedió, por ejemplo, un terremoto, es muy posible que la infraestructura de comunicación quede inutilizable. Las MANETs resultan ideales para esta situación, puesto que pueden desplegarse fácil y rápidamente y su topología dinámica permite soportar cambios en el número y la densidad de los participantes (Liu et al., 2018).

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS SOBRE LAS QUE SE ASIENTA EL PARADIGMA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA VEHÍCULOS

- Redes de área personal: la idea de una red de área personal o PAN (*Personal Area Network*) es crear una red localizada poblada por algunos nodos de red que estén estrechamente asociados a una sola persona (Chakraborty et al., 2022). El ejemplo más claro de esta aplicación es el Bluetooth, una tecnología de red local inalámbrica con un pequeño rango de transmisión que no necesita de infraestructura o cableado para conectar con los terminales finales.

La movilidad de los nodos supone grandes ventajas, pero acarrea también una serie de inconvenientes. Los constantes e imprevisibles cambios que ocurren en una topología MANET pueden provocar que rutas entre emisor y receptor que en un primer momento eran eficientes pasen a convertirse, en cuestión de segundos, en ineficientes o, incluso, inviables. Por este motivo, se requiere de protocolos de encaminamiento adaptativos, los cuales son de una considerable complejidad. Además, estos protocolos deben estar específicamente diseñados para minimizar el número de mensajes de control, puesto que la constante propagación de mensajes destinados a la modificación de las tablas de enrutamiento deriva en un aumento de la utilización del ancho de banda disponible.

Por último, cabe destacar la desventaja ligada a la limitación de energía. La movilidad de los nodos está sujeta a la duración de sus baterías, por lo que la optimización de la conservación de la energía es crucial (Dipobagio, 2009).

2.3. Redes vehiculares *ad hoc*

Según la Organización Mundial de la Salud, la pérdida de vidas por accidentes de tráfico aumenta día a día (World Health Organization, 17 de junio de 2018). Con la irrupción de la tecnología en el mundo de la automoción, se comenzó a pensar en cómo esta podría ayudar a la conducción para convertirla en una actividad más segura, a la par que más eficiente y menos estresante. De esta motivación surgiría la idea de plantear una MANET cuyos nodos móviles fueran vehículos.

Las redes vehiculares *ad hoc* o VANETs (*Vehicular Ad hoc NETWORKS*) son la mayor aplicación en la vida real de redes *ad hoc*. Esto es debido a que mitigan, en parte, dos de los principales inconvenientes que se comentaron sobre las MANETs. Por un lado, la topología en una VANET está más o menos delimitada por el trazado de las carreteras, por lo que los nodos no pueden moverse de una forma tan arbitraria como en una MANET. Por otro lado, los recursos tecnológicos con los que cuentan los coches de última generación son lo suficientemente potentes como para que se puedan realizar los procesamientos más complejos sin ningún tipo de problema y sin que existan limitaciones de almacenamiento.

En la Figura 2.4 se presenta un posible escenario de una VANET. En ella se pueden distinguir tres componentes y dos estrategias de comunicación, que se detallarán a continuación.

Los componentes principales que conforman la arquitectura de una VANET son (Boukerche y De Grande, 2018) (Issac y Mary, 2019):

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS SOBRE LAS QUE SE ASIENTA EL PARADIGMA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA VEHÍCULOS

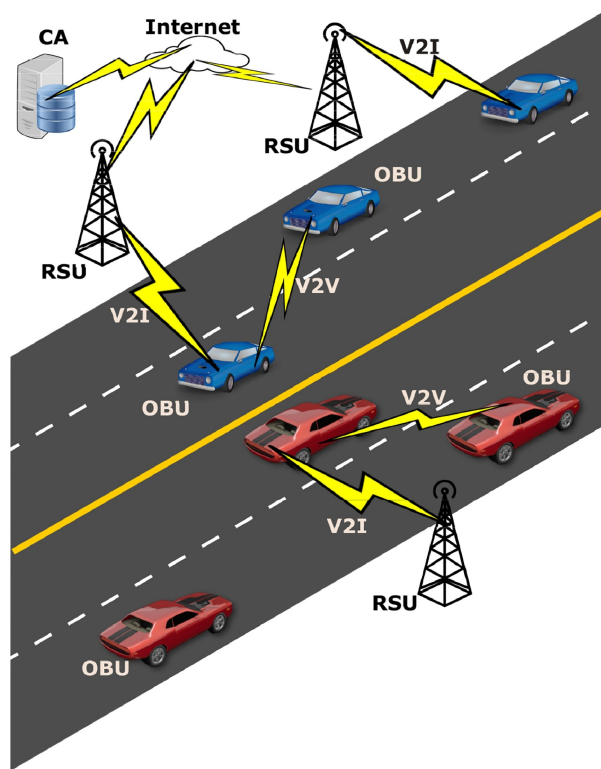


Figura 2.4: Red vehicular *ad hoc* (Boukerche y De Grande, 2018).

- Unidad a bordo u OBU (*On Board Unit*): está presente en cada vehículo y representa realmente al nodo móvil de una VANET. Su principal función es recopilar información que puede ser requerida en algún momento por las diferentes aplicaciones y servicios. Integrada junto a una serie de sensores, la OBU agrega información sobre la posición, la velocidad y la aceleración o deceleración del vehículo para comunicársela a las RSUs, o bien a otras OBUs, puesto que, aparte de como emisores, pueden actuar también como receptores. Además, disponen de mecanismos capaces de verificar la información entrante con el fin de evitar ataques de seguridad.
- Unidad de carretera o RSU (*Road Side Unit*): es un equipo físico de comunicación ubicado de forma fija que se encarga de la recolección y distribución de la información de tráfico. Cada unidad de carretera cuenta, al menos, con una interfaz de red para su conexión a Internet. Esto proporciona a las RSUs la capacidad de actuar como *gateways* para permitir a las OBUs, siempre y cuando estén situadas dentro del rango de cobertura, conectarse a Internet. Las RSUs sirven también como puntos finales de vigilancia para la recolección de información procedente tanto de los vehículos como de la carretera. Por este motivo, estos dispositivos suelen estar ubicados a lo largo de la carretera, para monitorizar el flujo de tráfico, o bien en intersecciones, para ofrecer ayuda en la coordinación, por ejemplo, de semáforos. Además, cabe decir que las RSUs ejercen un papel de coordinación dentro de las VANETs de gran tamaño. En estos casos, la red suele dividirse en regiones más pequeñas, que quedan comunicadas entre sí por medio de las unidades de carretera.

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS SOBRE LAS QUE SE ASIENTA EL PARADIGMA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA VEHÍCULOS

- Autoridad de certificación o CA (*Certification Authority*): es la responsable de prevenir posibles ataques de seguridad en las VANETs. Se trata de una entidad independiente encargada de administrar la seguridad y privacidad de la red. Dispone de la información de todos los vehículos, la cual es utilizada para verificar que los remitentes de todos los mensajes coinciden con una entidad válida. Por ejemplo, un Departamento de Transporte Municipal podría actuar como autoridad de certificación.

Las VANETs incorporan principalmente dos estrategias de comunicación (Boukerche y De Grande, 2018) (Zaidi y Syed.Faisal, 2018):

- Vehículo a vehículo o V2V (*Vehicle-to-Vehicle*): comunicación directa entre vehículos. Se produce entre las OBUs y suele utilizarse para la transmisión de mensajes relevantes acerca del tráfico, como puedan ser accidentes o retenciones.
- Vehículo a infraestructura o V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*): comunicación que sucede entre OBUs e infraestructuras, como puedan ser RSUs o semáforos inteligentes. Suelen implicar el acceso a redes externas, como Internet, a través de las RSUs.

Los enlaces de comunicación que se establecen en las comunicaciones V2I son más seguros que los de las comunicaciones V2V, pero requieren de más ancho de banda.

El gran interés que ha despertado este tipo de redes ha desembocado en su aplicación en múltiples situaciones de diferente índole que, por simplificar, se han agrupado en las siguientes tres categorías (Boukerche y De Grande, 2018):

- Aplicaciones para la seguridad vial: todas aquellas aplicaciones cuyo objetivo es reducir el número de accidentes de tráfico. Consisten en su mayoría en el intercambio de mensajes para alertar de situaciones de peligro en la carretera como puedan ser, por ejemplo, carreteras en mal estado o un clima hostil.
- Aplicaciones para mejorar la eficiencia del tráfico: cualquier aplicación cuyo propósito sea ayudar a los conductores a realizar un mejor uso de la carretera puede encuadrarse dentro de esta categoría. La información recabada por cada vehículo facilita, por ejemplo, la realización de estudios estadísticos con el fin de realizar recomendaciones sobre qué carretera tomar o a qué hora circular por una determinada vía.
- Aplicaciones para el confort de los pasajeros: engloba a todas aquellas aplicaciones destinadas al entretenimiento del conductor y de los pasajeros con el fin de hacer más agradables los viajes. Principalmente, se tratan de servicios posibles gracias a la conexión a Internet, como información sobre actividades de ocio en lugares cercanos a ti o vídeos y música bajo demanda.

El principal desafío al que se enfrentan las redes vehiculares *ad hoc* es el cómo garantizar la fiabilidad de las comunicaciones entre los vehículos, puesto que la gran movilidad de estos y los

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS SOBRE LAS QUE SE ASIENTA EL PARADIGMA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA VEHÍCULOS

frecuentes cambios de topología añaden una enorme complejidad a la hora del enrutamiento. En (Gaouar y Lehsaini, 2021) se divide a los protocolos de enrutamiento, según la forma de difundir los datos, en las siguientes tres categorías:

- **Protocolos proactivos:** se trata de aquellos protocolos de enrutamiento que implementan estrategias de distancia vectorial y de estado del enlace para determinar el camino entre un nodo origen y un nodo destino. El ejemplo más típico es el algoritmo de Dijkstra. En este tipo de protocolos, los nodos almacenan las rutas existentes para llegar a cualquier nodo de la red. Esto supone un mantenimiento continuo de la información de la topología, que requiere de una considerable capacidad de almacenamiento y procesamiento, especialmente en redes grandes. Además, el proceso de difusión de datos en este tipo de protocolos supone un gran consumo de ancho de banda, puesto que constantemente se tiene que estar distribuyendo actualizaciones cuando la topología cambia.
- **Protocolos reactivos:** en este tipo de protocolos la estrategia que se sigue para encontrar la ruta hacia un determinado destino se basa en inundación. El nodo origen envía mensajes de solicitud por todas sus rutas, que son respondidos por el resto de los nodos con mensajes que contienen la ruta inversa. De esta forma, la difusión de datos se produce bajo demanda y cada nodo solo mantiene la última ruta utilizada hacia cada nodo destino, por lo que no es necesario un mantenimiento como en los protocolos proactivos. El principal inconveniente de los protocolos reactivos es que en cuanto una ruta falla debe procederse de manera inmediata a encontrar una nueva ruta, lo cual puede suponer retardos en la comunicación.
- **Protocolos híbridos:** son los protocolos de enrutamiento que combinan las características de los protocolos proactivos y de los reactivos para hacer el enrutamiento más escalable y eficiente. Los nodos actúan de forma proactiva con los nodos vecinos, mientras que se comportan de manera reactiva con los nodos más alejados. Lo que se consigue de este modo es, por un lado, reducir la sobrecarga de la red que introducen los protocolos proactivos y, por otro lado, disminuir el retardo causado por los protocolos de enrutamiento reactivos.

Las desconexiones en las VANETs son frecuentes, por lo que encontrar una ruta que pueda garantizar un alto grado de fiabilidad a la hora de que un mensaje pueda ser entregado en su correspondiente destino resulta crucial. Dentro de la enorme dificultad derivada de la gran velocidad a la que se desplazan los vehículos, existen soluciones con un alto grado de fiabilidad. Estas se caracterizan en su mayoría por la utilización de protocolos de encaminamiento híbridos y por una elección de rutas basada en el número de nodos. Esto último significa que se opta por la ruta que contenga el mayor número posible de vehículos entre los dos nodos comunicantes, con el fin de garantizar, en la mayor medida, la conectividad entre los nodos intermedios que participan en el proceso de difusión de los datos.

2.4. Computación en la nube

Lo primero que cabe preguntarse antes de entrar en materia con la computación en la nube es qué es la nube. Debido a que no se trata de una entidad física, resulta un concepto bastante ambiguo. Pese a existir diferentes definiciones, todas ellas coinciden en utilizar el término nube para hacer referencia a una red enorme de servidores remotos repartidos a lo largo de todo el mundo que están conectados y coordinados entre sí para funcionar como un único ecosistema. Dichos servidores están diseñados para almacenar y administrar datos, para ejecutar aplicaciones o para entregar contenido y servicios, como *streaming* de vídeos, correo *web*, *software* de ofimática o redes sociales. En lugar de disponer únicamente de los datos y archivos alojados en el equipo personal o local utilizado, la nube permite tener acceso a todos ellos desde cualquier dispositivo con acceso a Internet, es decir, la información está disponible en cualquier momento y desde cualquier lugar del mundo, siempre y cuando se disponga de un dispositivo electrónico con conexión a Internet (Microsoft, s.f.).

Existen diferentes tipos de nube en función del tipo de implementación. El NIST (*National Institute of Standards and Technology*) define cuatro modelos distintos de despliegue de nube (Rodríguez, 2022):

- Nubes públicas: en este modelo, la infraestructura de la nube es proporcionada para su uso por el público en general. La entidad propietaria y encargada de gestionar y operar la nube es un proveedor de servicios externos, bien sea una empresa, una organización académica o una organización gubernamental. Suele implicar un cargo a los usuarios proporcional al uso. Este modelo de despliegue resulta adecuado para empresas que priorizan el acceso rápido y la escalabilidad.
- Nubes privadas: en este modelo, la infraestructura de la nube es proporcionada para su uso por una sola organización, por lo que los recursos de la nube no están expuestos al público. La entidad propietaria y encargada de gestionar y operar la nube puede ser la propia organización que la utiliza o bien otra entidad diferente. No suelen existir cargos económicos a los usuarios por el uso de recursos. Este modelo de despliegue resulta adecuado para empresas que priorizan la seguridad y el control de la nube.
- Nubes híbridas: en este modelo, la infraestructura de la nube es una composición de los dos modelos anteriores. Cada uno de los modelos actúa como una entidad independiente, pero se mantienen interconectadas para permitir la portabilidad de datos y aplicaciones. Típicamente, la aplicación de este tipo de nubes consiste en una nube privada que usa los servicios de una nube pública cuando no puede soportar los picos puntuales de carga. La Figura 2.5 trata de reflejar cómo este modelo de despliegue de nube reúne los aspectos positivos de la de nube pública y de la nube privada. Por un lado, el alto rendimiento, el bajo coste, la inmediatez de acceso y la escalabilidad de la nube pública y, por otro lado, la seguridad y la totalidad de control de la nube privada.
- Nubes de la comunidad: en este modelo, la infraestructura de la nube es proporcionada para su uso por una sola comunidad con intereses compartidos, cuyos usuarios pertenecen

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS SOBRE LAS QUE SE ASIENTA EL PARADIGMA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA VEHÍCULOS

a diferentes organizaciones. La entidad propietaria y encargada de gestionar y operar la nube puede ser una o varias organizaciones de la comunidad o bien otra entidad diferente. Puede haber o no un cargo a los usuarios por el uso de los recursos.

A mayores de estos cuatro modelos definidos por el NIST, últimamente ha ganado popularidad un modelo denominado multinube, que consiste en una agrupación de dos o más nubes del mismo tipo (públicas o privadas) administradas por diferentes proveedores. A diferencia de la nube híbrida, los proveedores de las nubes que conforman la multinube no están conectados entre sí. La principal ventaja de este modelo se encuentra en que si falla una nube se puede trabajar en otra, ofreciendo una solución de conmutación por error (Red Hat, 10 de octubre de 2022).

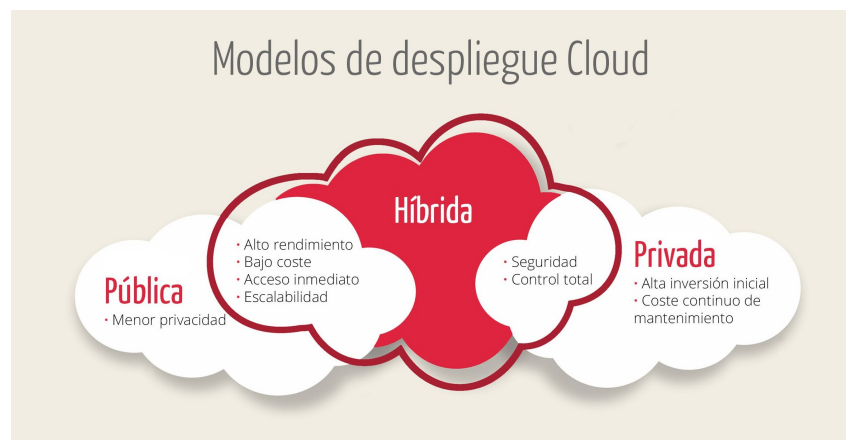


Figura 2.5: Tipos de nubes (Martín, 22 de marzo 2018).

Visto el concepto de la nube, se puede proseguir con el paradigma de estudio de esta sección. La computación en la nube ha supuesto una revolución en la industria de la tecnología de la información. Según el NIST (Mell y Grance, 2011), la computación en la nube se define como un modelo que permite el acceso ubicuo, cómodo y bajo demanda a un conjunto compartido de recursos informáticos configurables, como redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios, que pueden ser rápidamente aprovisionados y liberados con un mínimo esfuerzo de gestión o interacción del proveedor de servicios.

El nacimiento de la computación en la nube no habría sido posible sin la existencia de conceptos como la virtualización, la multitenencia y las arquitecturas orientadas a servicios o SOAs (*Service Oriented Architectures*) (Khoda Parast et al., 2022). Estas tecnologías fueron las primeras en implementar la compartición de recursos entre usuarios a partir de una instancia física. A continuación, se definen más detalladamente:

- **Virtualización:** define un enfoque abstracto para crear un ordenador, permitiendo la partición de recursos en el entorno de la nube. En otras palabras, la virtualización consiste en la creación, a través de *software*, de una versión virtual de un recurso tecnológico real

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS SOBRE LAS QUE SE ASIENTA EL PARADIGMA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA VEHÍCULOS

para que pueda ser compartido por varios usuarios o sistemas operativos. La virtualización garantiza la compartición segura de recursos, puesto que un mismo recurso tecnológico real puede convertirse en varios recursos virtuales, los cuales permanecen aislados entre sí y pueden ser asignados a diferentes usuarios; el uso óptimo de los mismos, si se estima que la utilización de un recurso real es del $X\%$, se pueden ofrecer $100/X$ recursos virtuales; y la posibilidad de adaptarse a la demanda de los usuarios, puesto que dinámicamente se puede modificar el número de recursos virtuales proporcionados a partir de un recurso real.

- **Multitenencia:** define una arquitectura de *software* que ayuda a varios clientes a acceder simultáneamente a una instancia *software*. En esta técnica, varias máquinas virtuales ubicadas en un servidor utilizan las mismas entidades físicas para dar servicio a los usuarios finales. En la multitenencia, instancias físicas como la CPU y la memoria se dividen en elementos compartibles, mediante virtualización, y se asignan a diferentes clientes. El acceso simultáneo a una instancia degrada el rendimiento del recurso compartido, pero maximiza el uso del mismo.
- **SOA:** define una metodología de desarrollo de *software* reutilizable basada en el servicio como elemento básico de construcción de aplicaciones. En una arquitectura SOA, los servicios se definen mediante interfaces estandarizadas, que permiten a los diferentes sistemas y aplicaciones interactuar de manera consistente y confiable, independientemente del lenguaje de programación o plataforma utilizados. La no dependencia de los servicios mejora la agilidad del desarrollo y hace que el modelo SOA se adapte adecuadamente a los nuevos entornos informáticos, como la computación en nube.

Las principales virtudes por las que se caracteriza la computación en la nube son (Boukerche y De Grande, 2018):

- **Disponibilidad:** con el único requisito de tener conexión a Internet se puede acceder, en cualquier momento y desde cualquier lugar del mundo, a cualquier recurso de computación, lo que facilita la flexibilidad y la movilidad de los usuarios.
- **Escalabilidad:** sin requerir de interacción humana, el usuario puede escalar su infraestructura tecnológica de manera rápida y flexible, modificando los recursos contratados en cualquier momento. La escalabilidad puede ser de tipo horizontal, conseguir más recursos iguales, o de tipo vertical, conseguir recursos más potentes.
- **Ahorro económico:** el modelo de facturación ofrecido por la computación en la nube se basa en el concepto de pago por uso. Esto hace que el usuario sólo tenga que pagar por lo que utiliza, evitando las ataduras de los contratos y las tarifas fijas tradicionales. Además, los usuarios se aprovechan de la economía de escala para disfrutar gratuitamente o a bajo coste de todo tipo de recursos. Por su parte, las empresas proveedoras de la nube se ven también beneficiadas, al ahorrarse los costes asociados a la instalación y mantenimiento de los centros de datos tradicionales.

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS SOBRE LAS QUE SE ASIENTA EL PARADIGMA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA VEHÍCULOS

- **Alcanzabilidad:** con la nube se puede llegar a regiones geográficas remotas e implementar en cuestión de minutos la infraestructura necesaria para mejorar la experiencia y reducir la latencia con los usuarios finales. Además, la nube permite conectar a personas de diferentes rincones del mundo para, por ejemplo, editar un documento en tiempo real.
- **Sostenibilidad:** la computación en la nube, al estar basada en un conjunto de recursos compartidos, es *per se* una tecnología más eficiente que la computación tradicional, en la que, por ejemplo, se utilizan grandes cantidades de energía tanto para mantener como para enfriar el *hardware*.

Frente a los servicios locales tradicionales, las características de la computación en la nube suponen ventajas sustanciales. Por ejemplo, en el caso de una empresa que vaya a emprender un negocio, esta no va a tener por qué realizar imperiosamente un gran desembolso inicial para construir su infraestructura tecnológica, sino que va a poder ir adquiriendo sobre la marcha los recursos necesarios en cada momento en función de su crecimiento. Además, va a poder centrarse exclusivamente en su negocio sin tener que preocuparse por el mantenimiento o las actualizaciones de los sistemas, responsabilidades de las que se encarga el proveedor de la nube.

La unión de todos estos beneficios ha motivado a una cantidad enorme de usuarios y empresas a migrar sus datos y servicios a servidores remotos en la nube. De acuerdo con un estudio reciente realizado por Foundry, el 69 % de las empresas analizadas aceleraron su migración a la nube durante el 2022 y se espera que el porcentaje de compañías con la mayor parte o la totalidad de la infraestructura tecnológica pase del 41 % al 63 % a lo largo de 2023 (Foundry, 2022).

Los elementos que conforman la arquitectura de la computación en la nube varían en función de la fuente consultada. En (Al-Qamash et al., 2018) se considera que la arquitectura de la computación en la nube está formada por los siguientes cuatro componentes:

- **Plataforma de *front end*:** es la plataforma que es visible para los clientes de la nube. La interfaz que el cliente utiliza para acceder a la nube puede ser cualquier *software* o *hardware*, dependiendo del tipo de computación en la nube que se utilice para obtener estos servicios. Entre los ejemplos se pueden encontrar navegadores, sistemas operativos, tabletas o teléfonos móviles.
- **Plataforma de *back end*:** se trata de la plataforma utilizada por el proveedor de servicios. Consta de un conjunto de servidores y recursos de almacenamiento, que viene a ser lo denominado como infraestructura de nube. Como se vio previamente, existen diferentes modelos de nube, que se diferencian según su forma de administración y de monetización.
- **La red:** hace referencia al conjunto de centros de datos de *software* y *hardware* que proporcionan los servicios a través de Internet.
- **Servicios:** el NIST define tres principales modelos de servicios.
 - **Software como servicio o SaaS (*Software as a Service*):** en este modelo, el servicio suministrado por el proveedor de la nube es el *software*. Básicamente, es una alternativa a la ejecución de aplicaciones en local, puesto que proporciona al consumidor

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS SOBRE LAS QUE SE ASIENTA EL PARADIGMA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA VEHÍCULOS

la posibilidad de utilizar aplicaciones del proveedor que se ejecutan en una infraestructura de nube. A dichas aplicaciones se puede acceder mediante una interfaz cliente, como un navegador *web* o una interfaz de programación de aplicaciones o API (*Application Programming Interface*), lo cual exime al usuario de tener que preocuparse por posibles problemas de incompatibilidad. La infraestructura de nube en donde se ejecutan las aplicaciones no puede ser gestionada ni controlada por el consumidor. Los únicos ajustes que el usuario puede configurar son los de su propia cuenta dentro de la aplicación utilizada. Un ejemplo de este modelo de servicio es OverLeaf, un famoso editor colaborativo y compilador de LATEX online.

- **Plataforma como servicio o PaaS (*Platform as a Service*):** este modelo de servicio permite a los consumidores realizar despliegues de aplicaciones adquiridas o desarrolladas por él en una infraestructura de nube. Al igual que en SaaS, el usuario no puede gestionar ni controlar la infraestructura de nube, aunque sí tiene control sobre las aplicaciones instaladas e, incluso, puede cambiar, parcialmente, la configuración del entorno donde se ejecutan sus aplicaciones. En otras palabras, el usuario tiene el control sobre sus aplicaciones, mientras que el proveedor de servicios se encarga de todos los detalles de mantenimiento subyacentes, como puedan ser los servidores, las redes, almacenamiento y otros servicios necesarios para albergar la aplicación del usuario. Un buen ejemplo de este modelo es Google Apps Engine, donde el usuario puede desarrollar sus propias aplicaciones dentro de un entorno proporcionado por Google, basándose, eso sí, exclusivamente en las herramientas proporcionadas por el propio Google.
- **Infraestructura como servicio o IaaS (*Infrastructure as a Service*):** gracias a la virtualización, en este modelo el servicio proporcionado por el proveedor de nube es la infraestructura, es decir, recursos de cálculo, almacenamiento, red de comunicaciones y demás recursos informáticos virtuales. De los tres modelos vistos, este es en el que el usuario tiene un mayor control, puesto que puede instalar y ejecutar cualquier *software*, incluido el sistema operativo que se le antoje. Pese a esto, el usuario tampoco tiene permisos para gestionar o controlar la infraestructura de la nube, aunque sí tiene control sobre, por ejemplo, los recursos virtuales asignados, los sistemas operativos usados, el almacenamiento utilizado o las aplicaciones desplegadas. Un ejemplo típico de este modelo de servicio es OpenStack, que es una infraestructura de código abierto para crear nubes.

Como se ha podido comprobar, cada modelo de servicio cubre unas necesidades del usuario diferentes, y proporciona un nivel distinto de control, flexibilidad y administración, por lo que no existe un modelo que sea mejor que otro por definición. A modo de resumen, la Tabla 2.1 recoge las principales diferencias entre los tres modelos vistos, mientras que la Figura 2.6 presenta una comparación con las responsabilidades de las que tendría que hacerse cargo el usuario según cada modelo de servicio, siendo estas máximas en el modelo tradicional (*on-premises*) e inexistentes en el modelo SaaS. A modo de ejemplo divulgativo, la Figura 2.7 convierte las responsabilidades de la Figura 2.6 en los medios que necesita una persona en función de cómo decida comerse una pizza.

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS SOBRE LAS QUE SE ASIENTA EL PARADIGMA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA VEHÍCULOS

IaaS	PaaS	SaaS
Ofrece recursos de almacenamiento, de computación y de red	Ofrece entornos de desarrollo y despliegue	Ofrece aplicaciones basadas en la nube
Acceso a través de un panel de control o API	Acceso vía web	Acceso a través de un navegador web o una app
Disponible en un modelo de pago por uso	Disponible en un modelo de pago por uso	Disponible gratuitamente, en un modelo de pago por suscripción o de compra
Dirigido a arquitectos de redes y administradores de IT	Dirigido a desarrolladores de <i>software</i>	Dirigido a usuarios finales

Tabla 2.1: Diferencias entre los modelos de servicio de la computación en la nube.

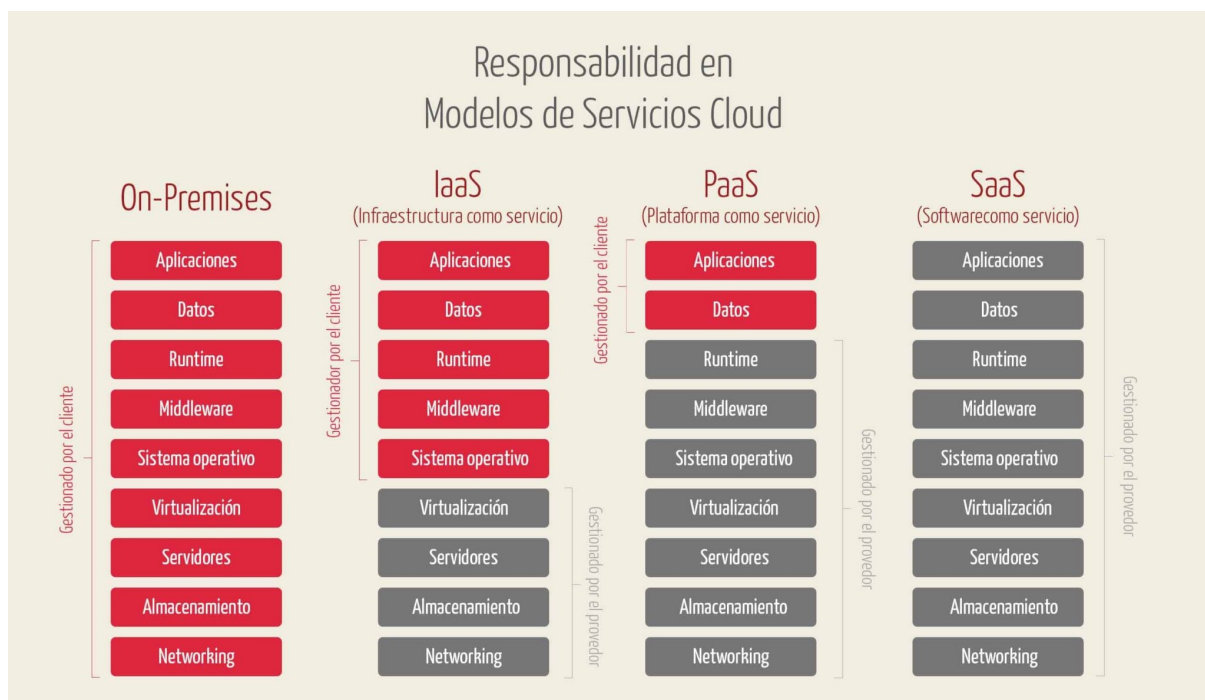


Figura 2.6: Responsabilidades en cada modelo de servicio de la computación en la nube (Martín, 22 de marzo 2018).

Hasta el momento solo se ha hablado de las diferentes ventajas y beneficios asociados a la utilización del paradigma de la computación en la nube, sin embargo, como en cualquier tecnología, existen también una serie de desventajas. La propia naturaleza de la computación en la nube hace que existan ciertos aspectos peligrosos, los cuales están asociados, principalmente, a la pérdida del control sobre nuestros datos. A continuación, se enumeran algunos de los más destacados (Shinde et al., 2023):

Pizza como Servicio



Figura 2.7: Modelos de servicio trasladados al proceso de comerse una pizza (Menghi, 14 de agosto de 2015).

- Dependencia de Internet: sin una conexión a Internet fiable y de alta velocidad, los recursos y aplicaciones en la nube pasan a ser inutilizables.
- Privacidad y seguridad: el modelo tecnológico de la nube obliga a que los datos circulen por nodos de Internet cada vez que se requiere un servicio en la nube, por lo que en cualquier momento se podría producir una interceptación por parte de terceros no autorizados.
- Dependencia del proveedor: existe una absoluta dependencia del correcto funcionamiento del proveedor de la nube, siendo un claro punto crítico de fallo.
- Latencia: en mayor o menor medida siempre va a existir un retardo desde que una solicitud sale del dispositivo del usuario en dirección a la nube hasta que vuelve.
- Desconfianza: a diferencia de la computación tradicional donde el usuario es plenamente consciente de que determinado álbum de fotos está guardado en cierta memoria USB, con la nube se pierde la noción de dónde está almacenada la información, lo cual puede provocar en los usuarios una mayor sensación de desconfianza e inseguridad.

De los inconvenientes mencionados, la privacidad y la seguridad son las principales preocupaciones que tienen los usuarios al utilizar la nube. Existen leyes que regulan el uso y tratamiento

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS SOBRE LAS QUE SE ASIENTA EL PARADIGMA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA VEHÍCULOS

de datos e información de carácter personal en la nube, sin embargo, el grado restrictivo de las mismas varía enormemente en función de cada país. La Unión Europea es una de las organizaciones internacionales más preocupadas por la protección de la privacidad en Internet. Por esta razón, ha definido principios protectores del individuo, que se encuentran entre los más avanzados del mundo. Una transferencia de información, desde la UE hacia otro país, queda anulada si se comprueba que no existen protecciones personales equivalentes en el receptor. Los principios de privacidad más sobresalientes de la Unión Europea son los siguientes (Joyanes, 2018):

- Los datos deben ser recopilados o coleccionados de acuerdo con las leyes.
- La información recogida sobre una persona no puede ser divulgada a otras organizaciones o personas, a menos que sea autorizada por la ley o por consentimiento expreso del interesado.
- Los registros de datos personales deben ser precisos y actualizados.
- Las personas tienen derecho a corregir los errores contenidos en sus datos.
- Los datos deben ser utilizados sólo para los propósitos con los que fueron coleccionados y se deben utilizar solo por un periodo razonable de tiempo.
- Las personas tienen derecho a recibir un informe sobre la información que se tiene sobre ellas.
- La transmisión de información personal a lugares donde no se pueda asegurar una protección de datos equivalente a la existente en la UE se debe prohibir.

A pesar de los mencionados inconvenientes, y a menos que ocurra un gran problema de seguridad que genere desconfianza en los usuarios hacia la utilización de la nube, la computación en la nube debería continuar con su imparable expansión, puesto que su capacidad, flexibilidad y facilidad de uso resultan imprescindibles en el actual mundo digital en el que cada vez se tienen más dispositivos conectados, fruto del deseo de querer tener monitorizado todo lo que gira a nuestro alrededor. La inmensidad de las compañías que rodean el mercado de proveedores de computación en la nube hace ver el potencial de esta tecnología. Amazon, Microsoft y Google son los tres gigantes multinacionales que copan más de la mitad del mercado, siendo Amazon la compañía que lidera esta clasificación. En el primer cuatrimestre de 2023, Amazon acaparaba un 32 % de la cuota de mercado, mientras que el 23 % pertenecía a Microsoft y el 10 % a Google (Ritcher, 28 de abril de 2023).

El hecho de que Amazon Web Services (AWS) sea la plataforma de servicios en la nube más utilizada en el mundo se debe a varios factores. El primero de ellos tiene que ver con la madurez y fiabilidad de la plataforma. AWS lleva en el mercado desde el 2006, mientras que Azure, marca comercial de Microsoft, y Google Cloud Platform (GCP) surgieron en 2010. Esto ha permitido a Amazon estar siempre a la vanguardia del mercado y contar en la actualidad con la

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS SOBRE LAS QUE SE ASIENTA EL PARADIGMA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA VEHÍCULOS

comunidad más grande y dinámica, con millones de clientes activos y decenas de miles de socios en todo el mundo. En su página *web* oficial (Amazon Web Services, s.f.), AWS se define como la plataforma en la nube más completa del mundo. Ofrece más de 200 servicios integrales de centros de datos a nivel global y dispone de una cantidad de servicios y de características incluidas en ellos que supera la de cualquier otro proveedor de la nube, ofreciendo desde tecnologías de infraestructura como cómputo, almacenamiento y bases de datos, hasta tecnologías emergentes como aprendizaje automático, inteligencia artificial, lagos de datos e internet de las cosas. Esto significa que las empresas pueden utilizar AWS para ejecutar una variedad de aplicaciones y servicios en la nube de forma escalable y rentable, todo en una única plataforma. Otro factor importante es la seguridad. AWS cuenta con una arquitectura de seguridad en capas y cumple con una amplia gama de estándares de cumplimiento. Esto significa que las empresas pueden confiar en que sus datos y aplicaciones están seguros en la nube de AWS. A pesar de que Azure y GCP también ofrecen una amplia gama de servicios en la nube, AWS sigue siendo el líder del mercado debido a su madurez, confiabilidad, seguridad, comunidad de usuarios y ecosistema de socios de tecnología.

2.5. Computación en la nube móvil

Desde que empezase el siglo XXI, dispositivos móviles como *tablets* y *smartphones* han ido creciendo año a año en cantidad, capacidades y popularidad, hasta el punto de desbancar a los ordenadores como método de acceso a Internet más utilizado. Esto trajo consigo la necesidad de abrir un nuevo campo de investigación dentro del paradigma de la computación en la nube, bautizado como computación en la nube móvil o MCC (*Mobile Cloud Computing*), en el que los clientes o usuarios finales de la computación en la nube fuesen agentes móviles. El *Mobile Cloud Computing Forum* define la MCC de la siguiente manera: “La computación en la nube móvil, en su forma más simple, se refiere a una infraestructura en la que tanto el almacenamiento como el procesamiento de datos se realizan fuera del dispositivo móvil. Las aplicaciones de la nube móvil trasladan estas tareas a la nube”. En otras palabras, la MCC proporciona a los usuarios de dispositivos móviles servicios de procesamiento y almacenamiento de datos en la nube. Dicho así puede parecer algo intrascendente, sin embargo, brinda a los dispositivos móviles una serie de prestaciones muy ventajosas:

- Aumento del tiempo de vida de la batería: la duración de la batería es claramente un punto de debilidad de los dispositivos móviles, que obliga a los usuarios a tener que cargarlos prácticamente a diario. Con la computación en la nube, las tareas computacionales más complejas son realizadas en potentes servidores remotos en lugar de efectuarse en los propios dispositivos móviles. Esto evita que los tiempos de ejecución, por ejemplo, de aplicaciones, se dilaten en el tiempo, lo cual se traduce en una importante reducción del consumo de energía que, consecuentemente, va a suponer una menor degradación de la vida útil de la batería.
- Incremento de la capacidad de almacenamiento de datos y de la potencia de computación: un dispositivo móvil, por bueno que sea, tiene recursos físicos limitados en cuanto a

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS SOBRE LAS QUE SE ASIENTA EL PARADIGMA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA VEHÍCULOS

potencia de procesamiento o a capacidad de almacenamiento. La computación en la nube ayuda a los dispositivos móviles en estas tareas, por ejemplo, con servicios que permiten a los usuarios el almacenamiento de su información sin el establecimiento de obstáculos a la hora de acceder a ellos desde cualquier lugar y en cualquier momento.

- **Aumento de la fiabilidad:** la computación en la nube facilita la creación de copias de seguridad. Gracias a que los datos y aplicaciones son almacenados en la nube, se reduce la posibilidad de que un usuario pueda perder información almacenada en un dispositivo móvil. Además, la nube puede proporcionar de forma remota servicios de seguridad como *software* de antivirus.

La Figura 2.8 muestra la arquitectura general del paradigma de computación en la nube móvil. Los dispositivos móviles están conectados a las redes móviles a través de estaciones base como, por ejemplo, satélites, puntos de acceso o estaciones bases transceptoras o BTS (*Base Transceiver Stations*). Estas se encargan de establecer y controlar las conexiones y las interfaces funcionales entre las redes y los dispositivos móviles. Las solicitudes y la información de los usuarios móviles se transmiten a los procesadores centrales, los cuales están conectados a los servidores que prestan los servicios a la red móvil. Aquí, los operadores de redes móviles pueden prestar servicios a los usuarios de dispositivos móviles, como autenticación, autorización y contabilidad, basados en el agente de origen y los datos de los abonados almacenados en la base de datos. Después, las solicitudes de los abonados se envían a una nube a través de Internet. En la nube, los controladores de la nube procesan las solicitudes para proveer a los usuarios móviles los servicios en la nube correspondientes (Dinh et al., 2013).

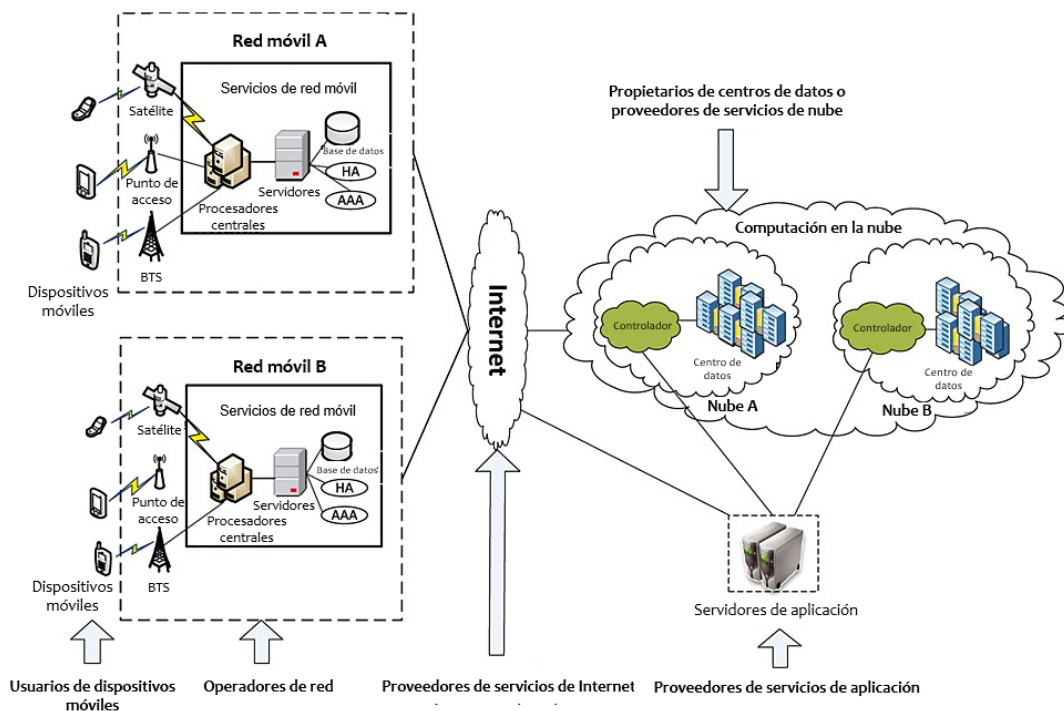


Figura 2.8: Arquitectura del paradigma de computación en la nube móvil (Dinh et al., 2013).

2.6. Computación en el borde y computación en la niebla

Según la página de estadísticas de Statista, se estima que en el 2022 el número de dispositivos conectados a nivel mundial rondaba los 11,3 mil millones y que esta cifra aumentará hasta los 29,4 mil millones en 2030 (Fernández, 27 de septiembre de 2022). Ante semejante flujo de datos, los centros de datos de la nube no pueden garantizar tasas de transferencia y tiempos de respuesta lo suficientemente válidos para ciertos tipos de aplicaciones, por lo que en algunas situaciones las capacidades de la computación en la nube pueden quedarse cortas. Esto, unido a la popularidad y grado de adopción que ha tenido la computación en la nube, ha provocado que surjan nuevas tecnologías basadas en ella.

La computación en el borde (*edge computing*) y la computación en la niebla (*fog computing*) son los paradigmas surgidos a partir de la computación en la nube que han despertado un mayor interés. Ninguna de las dos tecnologías mencionadas nació con el objetivo de sustituir a la computación en la nube, sino más bien con la intención de complementarla para plantear soluciones híbridas en las que extender las capacidades de la computación en la nube. La principal novedad que plantean estos modelos de computación consiste, a grandes rasgos, en realizar un procesamiento de los datos generados previo al envío a la nube. El objetivo que se persigue con esto es acercar el tratamiento de los datos al lugar de origen de estos, de forma que no toda la información que se genere tenga que ser enviada a los centros de datos de la nube, los cuales pueden estar situados a miles de kilómetros de distancia.

Este nuevo planteamiento supone numerosas mejoras respecto al modelo de computación en la nube tradicional. Por un lado, se alivia la congestión de la red al no ser enviados a la nube todos los datos generados, reduciéndose el uso de ancho de banda y disminuyendo la latencia, dos características primordiales en muchas aplicaciones en las que se necesita un análisis de datos en tiempo cuasi real. Por ejemplo, si una cámara de seguridad colocada en una vivienda envía a la nube solo aquellos fotogramas que puedan denotar una situación de peligro, el consumo de recursos que se hace es mucho menor. Por otro lado, una arquitectura descentralizada supone ventajas en cuanto a seguridad, puesto que los datos que quedan almacenados en los propios dispositivos no se ven expuestos a posibles vulnerabilidades en la red. Esta propiedad también libera, en parte, de la dependencia de un proveedor externo, el cual puede resultar un punto crítico de fallo.

La *edge computing*, traducida al castellano como computación en el borde de la red o computación perimetral, se define como una parte de una topología de computación distribuida en la que las solicitudes son atendidas en el borde o perímetro, es decir, en donde los dispositivos producen o consumen información. Esto puede ocurrir directamente en los propios dispositivos de usuario, en cuyo caso reciben el nombre de dispositivos de borde, o bien en unos nodos a los que se conectan los dispositivos de usuario y que actúan como puerta de enlace, llamados nodos de borde. Independientemente de la arquitectura, cuando las tareas a realizar no pueden ser abordadas por los dispositivos o nodos de borde por falta de capacidades, se transfieren a los centros de datos de la nube. Por tanto, la arquitectura de la computación en el borde puede ser de dos capas, dispositivos de borde y nube, o de tres capas, dispositivos de usuario, nodos de borde y nube.

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS SOBRE LAS QUE SE ASIENTA EL PARADIGMA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA VEHÍCULOS

La Figura 2.9 muestra el caso de la arquitectura de tres capas. La capa inferior es donde se encuentran los dispositivos de usuario. En esta capa ocurren todas aquellas operaciones relacionadas con la adquisición de datos. En la capa del medio se encuentran los nodos de borde, que se encargan del procesamiento de datos, del enrutamiento y de la computación. Por lo general, los nodos de borde son ordenadores situados en las instalaciones de los clientes, como fábricas, hoteles, hospitales, empresas, bancos, etc. Proporcionan almacenamiento temporal en caché de los datos y una pequeña cantidad de computación inmediata, lo cual resulta extremadamente útil en aplicaciones en tiempo real, puesto que los datos y las solicitudes de procesamiento no tienen que viajar hasta la nube. La tercera y última capa representa a la nube y es donde van a parar todas aquellas tareas que los nodos de borde no son capaces de gestionar.

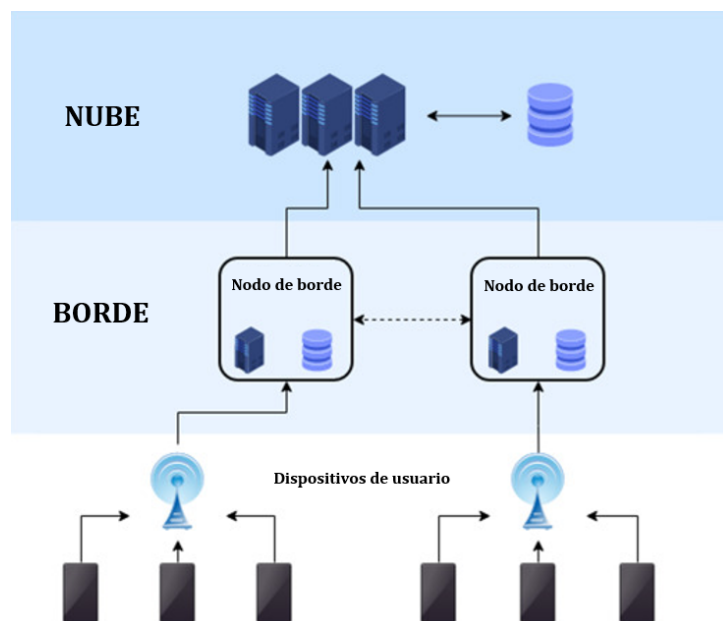


Figura 2.9: Arquitectura del paradigma de computación en el borde de la red (Shinde et al., 2023).

Las principales ventajas que aporta esta tecnología respecto a la computación en la nube tienen que ver con la velocidad, por simple cercanía el tiempo de respuesta de un dispositivo o nodo de borde va a ser inferior al ofrecido por los centros de datos de la nube; con la escalabilidad, por las características del *hardware* resulta más sencillo aumentar el número de nodos de borde que de centros de datos, y con la fiabilidad, puesto que la nube deja de ser el único lugar de computación. En cuanto a la seguridad, los sistemas centralizados como el de la computación en la nube son más vulnerables a ataques o cortes de energía, pero las arquitecturas distribuidas tienen muchos más puntos de entrada de *malware*. Además, los nodos de borde están conectados directamente con los dispositivos de los usuarios, por lo que la información personal de estos está más expuesta (Shinde et al., 2023).

La computación en la niebla responde a la necesidad de introducir una capa intermedia entre la nube y los dispositivos finales con un *hardware* específico para proporcionar un soporte para el análisis, en tiempo real y con baja latencia, de los datos que no pueden ser procesados por

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS SOBRE LAS QUE SE ASIENTA EL PARADIGMA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA VEHÍCULOS

los dispositivos o nodos de borde, los cuales suelen estar limitados en cuanto a recursos de computación y almacenamiento. El lugar en donde se tratan los datos es lo que diferencia a la computación en la niebla de la computación en el borde.

La computación en la niebla aleja la computación de las fuentes de datos y la sitúa a nivel de red de área local o LAN (*Local Area Network*). Los dispositivos finales envían sus datos a unos nodos LAN, donde son procesados, y la respuesta se envía de vuelta a los dispositivos finales. Como puede apreciarse en la arquitectura mostrada en la Figura 2.10, desaparecen los conceptos de dispositivo de borde y de nodos de borde, siendo los nodos de niebla los únicos componentes novedosos respecto a la computación en la nube tradicional. La principal ventaja que esto supone es que se libera a los terminales finales que capturan la información de su posterior procesamiento, por lo que se pueden utilizar como nodos de niebla dispositivos específicamente diseñados para el tratamiento de datos. La desventaja respecto a la computación en el borde se encuentra en que los datos viajan más por la red, con las consecuencias que ello acarrea en cuanto a seguridad y latencia (Al-Qamash et al., 2018).

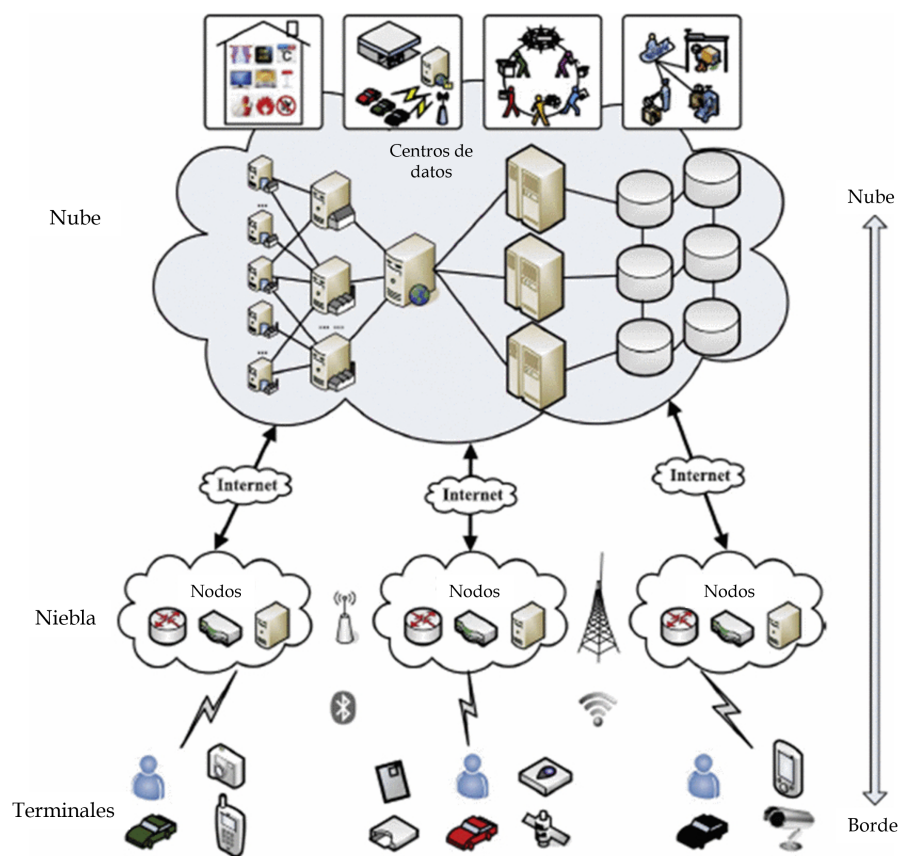


Figura 2.10: Arquitectura del paradigma de computación en la niebla (Al-Qamash et al., 2018).

A modo de conclusión, la Tabla 2.2 recoge una comparativa entre la computación en la nube, la computación en la niebla y la computación en el borde. De los tres paradigmas vistos, la computación en la nube queda como el único que tiene una arquitectura centralizada y en el

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS SOBRE LAS QUE SE ASIENTA EL PARADIGMA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA VEHÍCULOS

	Computación en la nube	Computación en la niebla	Computación en el borde
Arquitectura	Centralizada	Distribuida	Distribuida
Movilidad de los nodos	Limitada	Soportada	Soportada
Lugar en el que se procesan los datos	Servidores centrales de la nube	Nodos situados en una red de área local	En el propio dispositivo
Latencia	Alta	Baja	Muy baja
Espacio de almacenamiento	Prácticamente ilimitado	Limitado	Muy limitado
Potencia de computación	Muy alta	Media	Baja
Escalabilidad	Sencilla	Posible dentro de una red	Compleja
Seguridad	Baja	Alta	Muy alta

Tabla 2.2: Comparativa entre los paradigmas de computación en la nube, en la niebla y en el borde.

que existe limitación en la movilidad de los nodos. En cuanto al lugar en el que se procesan los datos, a mayor lejanía, mayor latencia y menor seguridad, puesto que los datos tienen que viajar más tiempo por la red. En la computación en la nube, al procesarse los datos en unos servidores centrales de la nube, se experimenta una mayor latencia que en la computación en la niebla, en donde el procesamiento ocurre en nodos situados en una red de área local. La computación en el borde es el paradigma que menos latencia sufre y mayor seguridad ofrece, puesto que los datos se procesan en donde se generan. Este hecho supone una enorme desventaja a la hora de analizar las capacidades de almacenamiento o de computación de cada paradigma, puesto que los recursos de un dispositivo final o de un nodo de borde son muy limitados frente a los prácticamente infinitos de los que dispone la nube. En cuanto a la escalabilidad, resulta mucho más sencillo añadir o eliminar recursos en servidores remotos de la nube que gestionar y mantener una infraestructura local formada por dispositivos de red y dispositivos IoT.

Para finalizar, se va a presentar la arquitectura propuesta en (Ortiz et al., 2022), Figura 2.11, un modelo de tres capas compuesto por nodos en la nube, en el borde y en la niebla que demuestra que la coexistencia de las tres tecnologías es posible y, sobre todo, eficiente.

En la capa de borde se sitúan los dispositivos finales, *smartphones*, *tablets* y demás dispositivos IoT que generan y consumen información. Estos suelen tener recursos computacionales limitados, por lo que el *software* que incorporan debe consumir pocos recursos en ejecución y las comunicaciones a través de Internet deben limitarse al máximo para ahorrar recursos. Para conseguirlo, se instala en ellos un agente *software* que se encarga de filtrar la información que sí necesita ser transmitida de la que sólo será utilizada internamente. Por tanto, los dispositivos de la capa de borde representan a los llamados en la computación en el borde como dispositivos de borde.

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS SOBRE LAS QUE SE ASIENTA EL PARADIGMA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA VEHÍCULOS

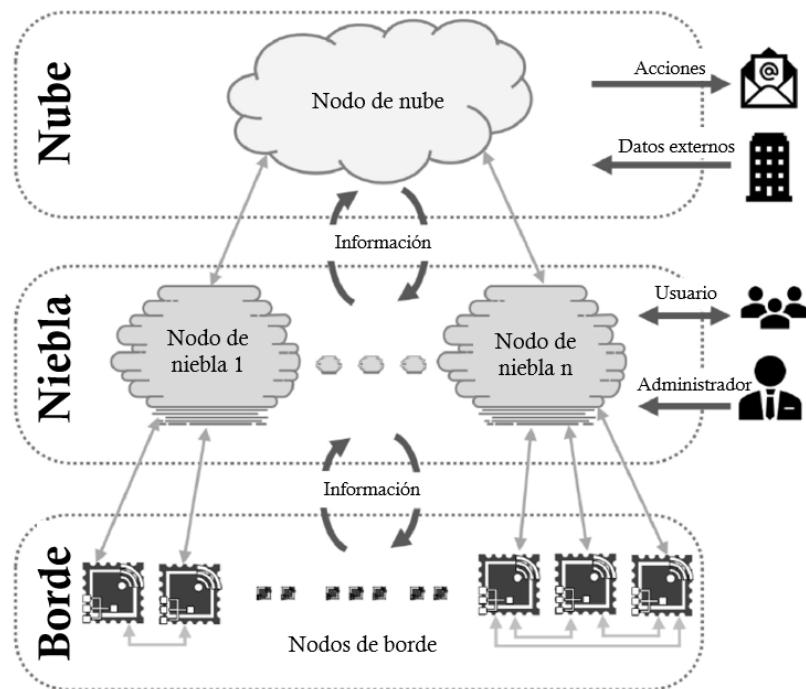


Figura 2.11: Arquitectura híbrida de los paradigmas de computación en la nube, en el borde y en la niebla (Ortiz et al., 2022).

Los nodos de la niebla son los dispositivos que actúan como puertas de enlace entre los diferentes componentes de la arquitectura, reciben datos tanto de la capa del borde, como de la capa de nube, como de otros nodos de la niebla. Todas las comunicaciones e interacciones de los dispositivos del borde tienen lugar a través de los nodos de borde, bien sean con los usuarios finales o con los nodos de la nube.

Por su parte, los nodos de la nube obtienen información de los nodos de la niebla, además de otras fuentes de datos externas, para tomar decisiones a nivel superior, las cuales pueden ir destinadas a los nodos de la niebla o a terceros, por ejemplo, para generar alertas a través de un servidor de correos. Para simplificar el dibujo de la Figura 2.11, en la capa de la nube se ha representado un único nodo, pero podría haber más nodos, los cuales podrían estar comunicándose entre sí.

Por último, la Figura 2.12 muestra un escenario ilustrativo de la arquitectura en un hotel, en el cual se tiene un nodo de nube para todo el hotel y un nodo de niebla por planta, donde los dispositivos de las habitaciones de cada planta conformarían el borde. La cantidad de nodos en cada capa depende del caso de estudio concreto, así como de la granularidad que se quiere dar a cada capa, la cual no tiene por qué depender del tamaño, sino que puede tener que ver con la funcionalidad que se quiere dar a cada capa. Por ende, sería perfectamente factible una cadena de hoteles con un único nodo de nube para todos y con un nodo de niebla para cada uno.

CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍAS SOBRE LAS QUE SE ASIENTA EL PARADIGMA DE COMPUTACIÓN EN LA NUBE PARA VEHÍCULOS

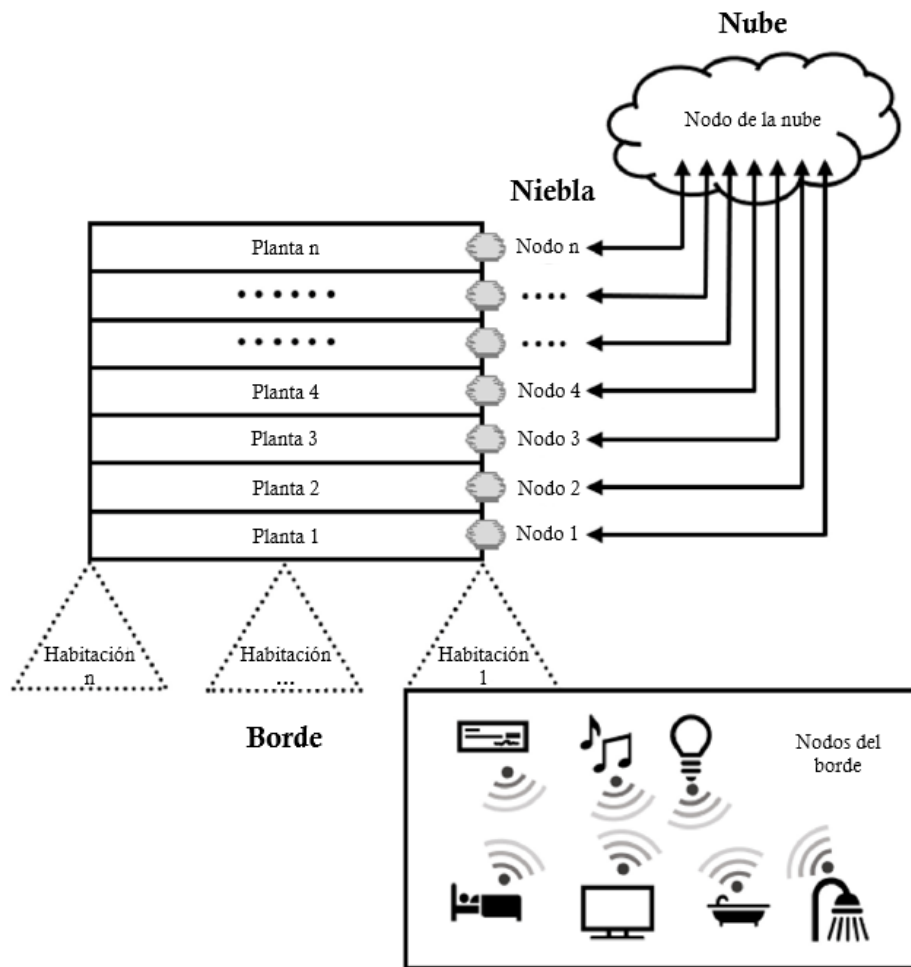


Figura 2.12: Ejemplo en un hotel de una arquitectura híbrida de los paradigmas de computación en la nube, en el borde y en la niebla (Ortiz et al., 2022).

Capítulo 3

Computación en la nube, en el borde y en la niebla aplicada al mundo vehicular

Es innegable que en los últimos años la movilidad se ha convertido en uno de los mayores retos a nivel mundial, en especial para las grandes ciudades. El interés por los vehículos inteligentes y las ciudades inteligentes ha provocado que las VANETs reciban una importante atención por parte de la comunidad investigadora, en busca de nuevas tecnologías derivadas. Utilizar el paradigma de la computación en la nube en el mundo vehicular parece ser la solución más prometedora.

3.1. Vehículos inteligentes

Con el objetivo de permitir el acceso a una gran variedad de servicios y aplicaciones que mejoren la experiencia a bordo del vehículo por parte del usuario, los modelos de vehículos más modernos disponen de una cantidad de recursos tecnológicos muy potentes, hasta el punto de que pueden considerarse como auténticos “ordenadores con ruedas”. A estos vehículos se les cataloga como *smart* o inteligentes.

Técnicamente, un vehículo inteligente es aquel que tiene la capacidad de realizar una percepción precisa y fiable del entorno que le rodea a partir de información incompleta e incierta obtenida mediante diferentes dispositivos a bordo como sensores, cámaras, radares o GPS (*Global Positioning System*). Dichos dispositivos son capaces de adquirir información tanto del exterior como del interior. Datos de navegación, temperatura, velocidad o imágenes son guardadas en una unidad de almacenamiento para su posterior procesamiento. A partir de esta información, y gracias a técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje autónomo, el vehículo es capaz de tomar decisiones y generar alertas en situaciones muy concretas como, por ejemplo, en base a la velocidad del vehículo y a la distancia a la que se encuentra del vehículo que le precede, avisar al conductor del primer vehículo de que si el conductor del segundo vehículo diera un frenazo en seco no se tendría el tiempo suficiente como para reaccionar y evitar la colisión.

CAPÍTULO 3. COMPUTACIÓN EN LA NUBE, EN EL BORDE Y EN LA NIEBLA APLICADA AL MUNDO VEHICULAR

Los vehículos inteligentes se diferencian de los tradicionales por contar con una OBU, ya mencionada con anterioridad, y por la gran cantidad de sensores con los que están equipados. A continuación, se citan algunos de los más comunes, los cuales pueden verse representados en la Figura 3.1 (Raza et al., 2019):

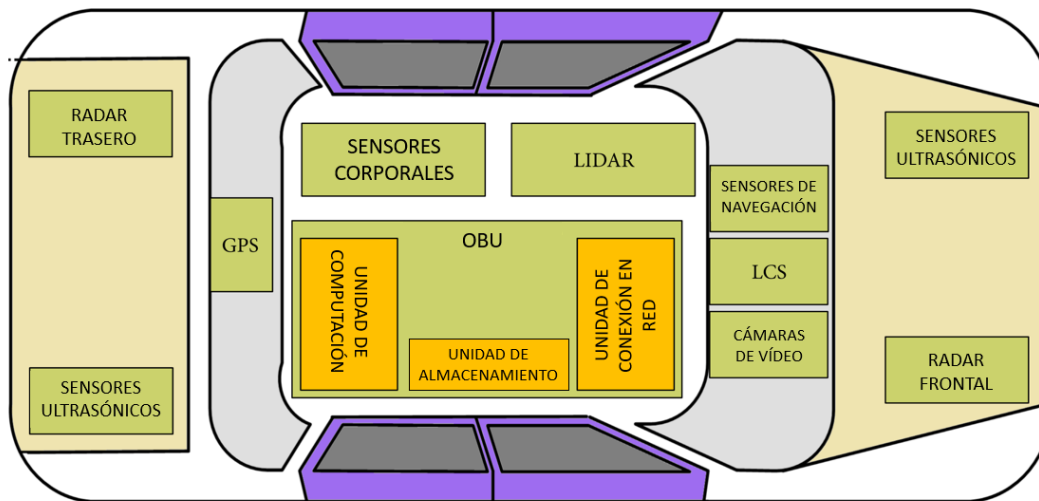


Figura 3.1: Componentes tecnológicos de un vehículo inteligente (Raza et al., 2019).

- **RADAR** (*Radio Detection and Ranging*): los sensores de tipo RADAR utilizan ondas de radio para detectar la posición y la velocidad de los objetos a su alrededor. Gracias a ello, los vehículos inteligentes pueden tener bajo control la distancia con otros vehículos u objetos.
- **Sensores ultrasónicos**: este tipo de sensores utilizan ondas sonoras de alta frecuencia para medir la distancia entre el vehículo y los objetos cercanos, en base al tiempo que tardan las ondas en rebotar en el objeto y volver al sensor. Los sensores ultrasónicos son los que suelen participar en el proceso de estacionamiento del vehículo para alertar al conductor en caso de acercarse demasiado a algún objeto.
- **GPS** (*Global Positioning System*): los sensores GPS utilizan señales de satélites para determinar la ubicación, velocidad y dirección del vehículo. Resulta un componente crucial en los vehículos inteligentes, puesto que permite conocer la posición del vehículo con una precisión inferior a 1 metro (Raza et al., 2019).
- **Sensores corporales**: este término engloba a los diferentes sensores encargados de monitorizar el estado físico de los pasajeros de un vehículo. Por ejemplo, si el sensor de seguimiento ocular detecta signos de distracción del conductor o el sensor de respiración detecta fatiga, en el vehículo se generará una alerta recomendando al conductor que tome un descanso.
- **LIDAR** (*Light Detection and Ranging*): es un sistema de medición y detección de objetos que utiliza rayos láser para crear un mapa en tres dimensiones del entorno más próximo.

Básicamente, consiste en un foco emisor de haces de rayos láser infrarrojos y de una lente receptora para detectar los rayos reflejados. De esta forma, se puede detectar no solo la distancia a un posible obstáculo, sino también su forma.

- Sensores de navegación: suelen estar ubicados en diferentes partes del vehículo y trabajan en conjunto para proporcionar la información necesaria para ayudar al vehículo a moverse de manera segura y precisa de un punto a otro.
- LCS (*Local Camera Sensor*): es un sensor situado en la parte frontal del vehículo que sirve para monitorizar el comportamiento del conductor.
- Cámaras de vídeo: suelen estar ubicados en el exterior del vehículo y se utilizan para proporcionar datos visuales en tiempo real al sistema informático del vehículo. Por ejemplo, para la identificación de señales de tráfico o marcas de carril, o para retransmitir en directo las imágenes capturadas y facilitar las maniobras a la hora del aparcamiento.

3.2. Computación en la nube para vehículos

La VCC plantea poner la computación en la nube al servicio de las VANETs. La idea surgió a raíz de la creciente necesidad de desarrollar VANETs que integraran aplicaciones que mejoraran la comodidad y seguridad del conductor en la carretera. Estas aplicaciones iban a requerir de ciertos requisitos de capacidad de computación y espacio de almacenamiento, los cuales podían ser satisfechos haciendo uso de la computación en la nube.

La propia naturaleza de la computación en la nube extiende aún más las capacidades de computación y almacenamientos de los vehículos, por lo que, probablemente, los recursos de los vehículos vayan a estar infrautilizados la mayor parte del tiempo. Para evitar esto, en la VCC se plantea que los vehículos puedan actuar, además de como usuarios de la nube, como proveedores de servicios. El objetivo es proporcionar servicios en la nube a través de nubes dinámicas y autoorganizadas constituidas por vehículos que produzcan, mantengan y compartan datos.

La Figura 3.2 trata de plasmar estos conceptos. Por un lado, se puede apreciar a los vehículos actuando como usuarios finales, accediendo a la nube convencional a través de las RSUs. Desde este punto de vista, la VCC es claramente una extensión de la MCC en la que los vehículos representan a los agentes móviles. Por otro lado, se puede observar que los vehículos se agrupan dando lugar a nubes, las cuales son consumidas por otros vehículos, o incluso por otro tipo de agentes móviles, como *smartphones* (Gaouar y Lehsaini, 2021) (B. Ahmed et al., 2019).

Con el objetivo de sintetizar los conceptos de los paradigmas relacionados con la computación en la nube vistos hasta el momento, la Tabla 3.1 recoge una comparativa entre la computación en la nube, la computación en la nube móvil y la computación en la nube para vehículos. En los tres casos la arquitectura de red es de tipo cliente-servidor, aunque en la VCC puede ser también entre pares. La computación en la nube es la única que no permite la movilidad de sus recursos, pero estos disponen de una mayor capacidad tanto de almacenamiento como de computación que los de un vehículo o que los de cualquier otro terminal móvil. La principal

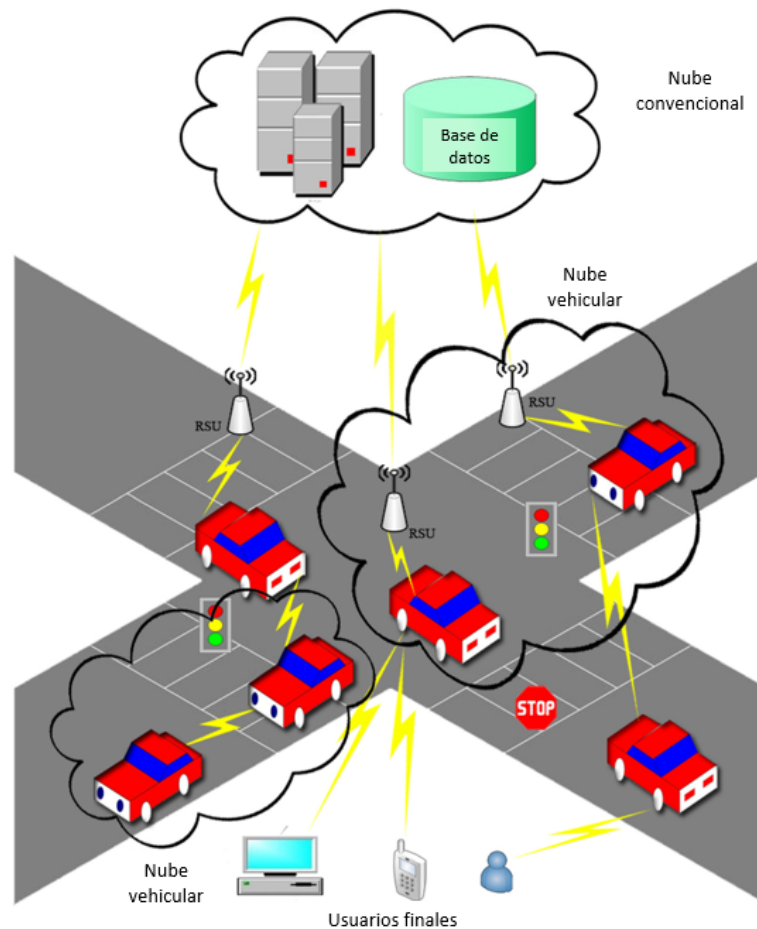


Figura 3.2: Paradigma de la computación en la nube para vehículos (Gaouar y Lehsaini, 2021).

ventaja de la VCC es la capacidad de formar nubes de manera autónoma. De los tres paradigmas, la computación en la nube móvil es la que presenta más debilidades, siendo su mayor limitación la dependencia de una batería de baja capacidad.

3.2.1. Arquitectura

La arquitectura de VCC consta de tres capas principales. Como se ilustra en la Figura 3.3 estas son la capa de a bordo, la capa de comunicación y la capa de la nube. Esta última, a su vez, se subdivide en otras tres capas, una de servicios, otra de aplicación y otra de infraestructura (Z. E. Ahmed et al., 2019).

La capa de a bordo representa al equipamiento del vehículo, el cual está formado, entre otros, por sensores, procesadores, elementos de almacenamiento o la OBU. Esta última hace de nexo entre la capa de a bordo y la capa de comunicación. Se encarga de recopilar toda la información procedente del resto de componentes del vehículo, bien para su posterior almacenamiento en la nube o bien para ser utilizada como entrada de algún programa de *software* en la subcapa de

CAPÍTULO 3. COMPUTACIÓN EN LA NUBE, EN EL BORDE Y EN LA NIEBLA APLICADA AL MUNDO VEHICULAR

	Computación en la nube	Computación en la nube móvil	Computación en la nube para vehículos
Arquitectura de red	Cliente-servidor	Cliente-servidor	Entre pares o cliente-servidor
Recursos físicos	Servidores en local o en remoto	Servidores en remoto o dispositivos móviles en local	Servidores en remoto o vehículos en local
Movilidad de los recursos	No soportada	Soportada	Soportada
Flexibilidad de los recursos	Estática	Estática	Altamente dinámica
Capacidad de almacenamiento	Alta	Baja	Media
Capacidad de computación	Alta	Baja	Media
Limitación debida a la batería	No	Sí	No
Capacidad de formación autónoma de nubes	No	No	Sí

Tabla 3.1: Comparativa entre los paradigmas de computación en la nube, computación en la nube móvil y computación en la nube para vehículos.

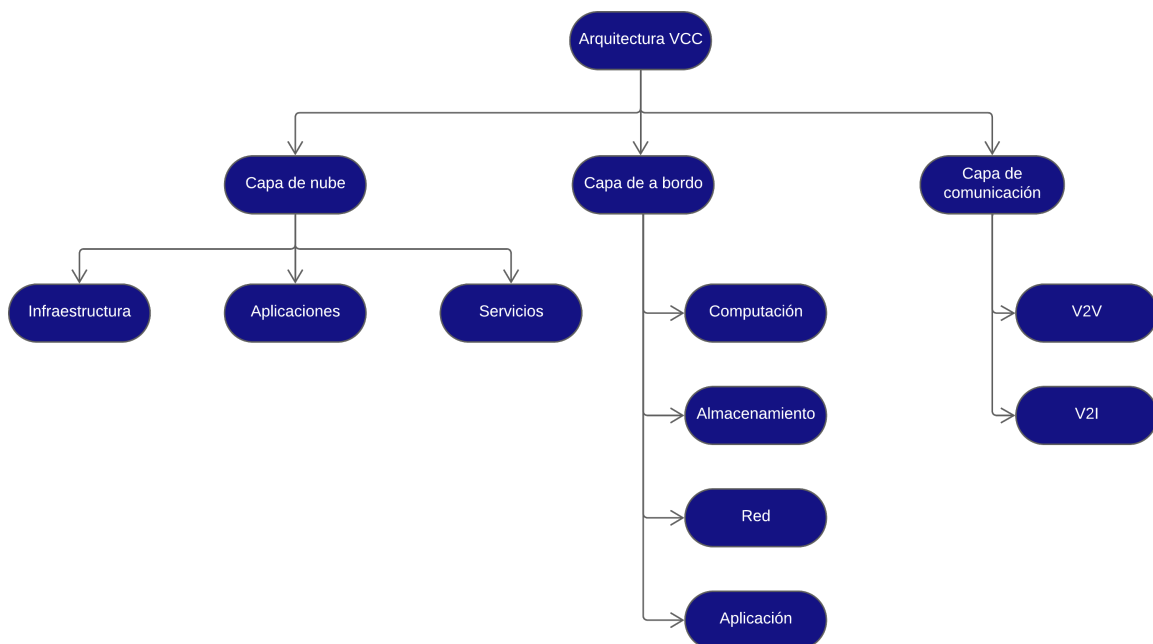


Figura 3.3: Arquitectura de la computación en la nube para vehículos (Z. E. Ahmed et al., 2019).

aplicación.

La capa de comunicación, como su nombre indica, hace posible la comunicación. La estrategia V2V es la que permite la formación de las nubes vehiculares. Más allá de las comunicaciones V2V y V2I comentadas previamente, con la VCC surgen nuevos tipos de comunicaciones. Por ejemplo, entre vehículo y peatón, la cual se conoce como V2P (*Vehicle to Pedestrian*), o entre vehículo y dispositivo móvil, denominada V2D (*Vehicle to Device*).

La subcapa de infraestructura engloba las partes de computación y de almacenamiento, necesarias para la ejecución de tareas y para el almacenamiento de los datos de la capa de a bordo. Por su parte, en la subcapa de aplicación es donde residen todos los programas de *software* que son accesibles de forma remota por los usuarios finales. La tercera y última subcapa de la capa de nube, la de servicios, se presenta de manera más detallada a continuación (B. Ahmed et al., 2019) (Z. E. Ahmed et al., 2019).

3.2.2. Servicios

Los servicios relacionados con la nube vehicular se clasifican en cuatro categorías, que dan lugar a nuevos modelos de servicio diferentes de los tres vistos para la computación en la nube tradicional (IaaS, SaaS, PaaS). A continuación, se detallan estos cuatro modelos de servicio, junto a una serie de aplicaciones propuestas por diferentes autores y recogidas en (B. Ahmed et al., 2019).

3.2.2.1. Computación como servicio

Al igual que en la computación en la nube tradicional, la computación como servicio se basa en el aprovechamiento, por parte de un tercero, de los recursos de computación de los vehículos. Otros vehículos, así como usuarios de *smartphones*, pueden solicitar ayuda a la nube vehicular para la realización de tareas que resultan demasiado intensas computacionalmente como para ser llevadas a cabo localmente, o bien para apoyar aplicaciones sensibles al retardo.

La Figura 3.4 trata de representar este modelo de servicio, donde el coche amarillo ejecuta una tarea apoyándose en los tres coches vecinos. La mayor parte de la carga computacional tiene que darse en el coche amarillo, que es el principal interesado, puesto que la nube vehicular es altamente dinámica y al entrar y salir vehículos con frecuencia es probable que los vehículos ayudantes no vayan a ser capaces de completar completamente las subtareas solicitadas. Para mejorar este aspecto, diversos autores han plasmado sus propuestas en diferentes artículos.

En (Bitam et al., 2015), se acuña el término *VANET-cloud* para denominar a un marco de trabajo en el que un proveedor de servicios sea el responsable de gestionar cada solicitud de un agente final para que sea tramitada por la nube vehicular o por una nube fija. Se demostró que este esquema era capaz de lograr una mejora considerable en el rendimiento, incluso en entornos de alta carga.

Por su parte, en (Zhang et al., 2015) propusieron combinar la nube vehicular con *cloudlets*

CAPÍTULO 3. COMPUTACIÓN EN LA NUBE, EN EL BORDE Y EN LA NIEBLA APLICADA AL MUNDO VEHICULAR

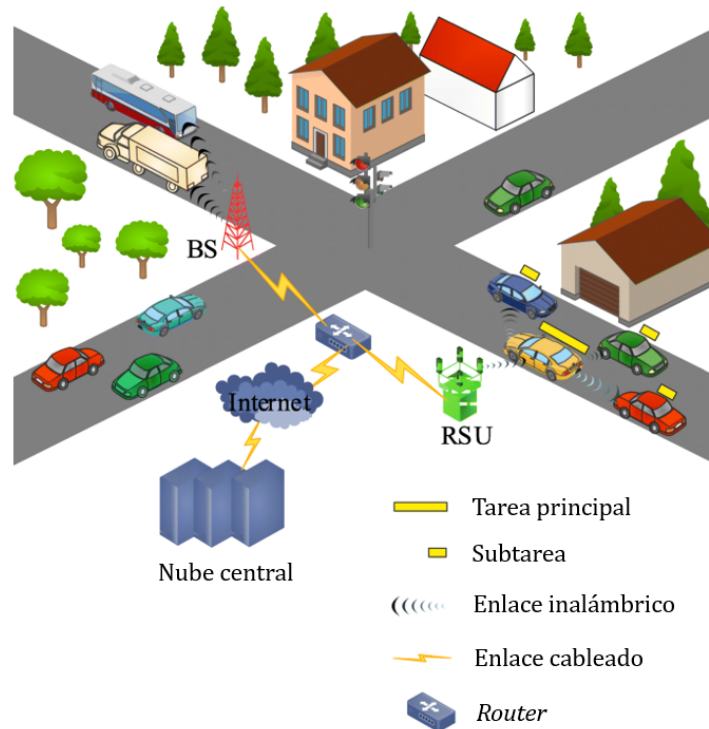


Figura 3.4: Modelo de computación como servicio en el paradigma de computación en la nube para vehículos (B. Ahmed et al., 2019).

para eximir a los *smartphones* de la realización de tareas computacionales. Para ello deben cumplirse dos requisitos. Por un lado, la existencia de una conexión fiable entre teléfono móvil y nube vehicular y, por otro lado, la disponibilidad de los recursos adecuados en la nube vehicular. En el caso de que un vehículo se aleje de la proximidad del *smartphone* durante la computación, el *cloudlet* sirve como salto intermedio entre el teléfono y la nube vehicular. Los autores demuestran que con este esquema se consigue mejorar el rendimiento y la duración de la batería de los *smartphones*.

La alta movilidad existente dentro de una red vehicular la convierte en un entorno complejo para la distribución de tareas y la recopilación de resultados. Por ello, algunos investigadores abogan por utilizar únicamente los vehículos estacionados, de forma que una RSU, situada en una intersección, distribuya las tareas de computación entre los vehículos aparcados y que otra RSU, ubicada en otra intersección, recoja los resultados a la salida de los vehículos del aparcamiento. La desventaja de este tipo de propuestas está en que la existencia de un distribuidor de tareas puede conducir fácilmente a un punto de fallo único.

La computación como servicio en VCC sigue siendo un área emergente que necesita de un mayor desarrollo para proporcionar tolerancia a fallos y servicios fiables. Tradicionalmente, la tolerancia a fallos se consigue salvaguardando periódicamente el estado de los recursos existentes. En (Ghazizadeh, Olariu, et al., 2015) se presenta un modelo de tolerancia a fallos en el que la mencionada salvaguardada se llevara a cabo únicamente cuando un vehículo abandonara la nube, en vez de realizarlo de manera sistemática cada cierto tiempo. Para lograr la redundancia,

CAPÍTULO 3. COMPUTACIÓN EN LA NUBE, EN EL BORDE Y EN LA NIEBLA APLICADA AL MUNDO VEHICULAR

las tareas se asignarán siempre a más de un vehículo. En el momento que un vehículo dejara de formar parte de la nube, se registrará su estado y la tarea restante se reasignará a un nuevo vehículo. De esta forma, se evitará que la tarea tenga que reiniciarse desde el último estado correctamente guardado.

Otro de los retos a los que se enfrenta la computación como servicio en VCC es al hecho de que todo el entramado se basa realmente en la compartición voluntaria de recursos de computación, por lo que parece necesario diseñar un mecanismo basado en incentivos que anime a la participación.

3.2.2.2. Almacenamiento como servicio

En VCC el almacenamiento como servicio es intrínsecamente diferente del servicio ofrecido en la computación en la nube tradicional. Esto se debe a que en la nube tradicional se dispone de un almacenamiento prácticamente ilimitado, lo cual resulta imposible de replicar mediante una nube vehicular en la que el almacenamiento recae sobre un clúster de vehículos que se unen y dejan de formar parte del mismo dinámicamente. En la Figura 3.5, se muestran dos ejemplos de clústers. En el caso del formado por vehículos estacionados, el servicio ofrecido resulta de más garantía y llega a más usuarios que en el formado por vehículos en circulación, pero aún así la fiabilidad sigue sin ser tan alta como en la computación en la nube tradicional.



Figura 3.5: Modelo de almacenamiento como servicio en el paradigma de computación en la nube para vehículos (B. Ahmed et al., 2019).

A continuación, se detallan algunos marcos de almacenamiento, técnicas y mecanismos propuestos bajo el paradigma VCC.

CAPÍTULO 3. COMPUTACIÓN EN LA NUBE, EN EL BORDE Y EN LA NIEBLA APLICADA AL MUNDO VEHICULAR

En (Dressler et al., 2014) se presenta un marco de recuperación y almacenamiento de datos basado en el protocolo VCP (*Virtual Cord Protocol*). El marco está diseñado para trabajar en un almacenamiento integrado de vehículos estacionados que, dinámicamente, crean una red vehicular, eliminando la necesidad de las RSUs. El funcionamiento se basa en la formación de cordones virtuales. Cuando un vehículo llega a la nube, recibe un mensaje de bienvenida para unirse a un cordón existente. Si el vehículo recibe mensajes de bienvenida procedentes de diferentes cordones, se prioriza el cordón con menor número de integrantes. En el caso de no recibir ningún mensaje de bienvenida trascurrido un intervalo de tiempo, el vehículo puede iniciar un nuevo cordón. En cada cordón existe un vehículo que actúa como puerta de enlace para la comunicación y enrutamiento entre cordones. Cuando un vehículo abandona la nube, los datos que almacenaba son replicados en otro vehículo del cordón.

En (Baron et al., 2017) se plantea una red en la que existen puntos de descarga y un controlador central. Los puntos de descarga sirven para el almacenamiento temporal. Antes de que un vehículo portador de datos se vaya a desviar de la ruta de destino de estos, los deposita en uno de estos puntos, de donde serán recogidos en algún momento por otro vehículo. El controlador central está conectado con los puntos de descarga y se encarga de planificar el movimiento de los datos en función de la dirección de los vehículos. Además, garantiza la fiabilidad de los datos mediante técnicas de redundancia.

Dado que la inmensa mayoría de los vehículos pasan la mayor parte de su vida aparcados en *parkings* y garajes, el almacenamiento a bordo de estos puede utilizarse como un recurso fundamental para formar un centro de datos. En (Mensi et al., 2016) se propone la creación de centros de datos vehiculares utilizando los recursos de almacenamiento de vehículos estacionados o detenidos en un atasco. Antes de moverse, el vehículo transfiere los datos que almacenaba a otro vehículo. En caso de que no haya ningún coche voluntario para recibirlos, los datos se transfieren a un vehículo llamado coordinador, el cual guarda los datos temporalmente hasta que se encuentre un vehículo disponible. El centro de datos vehicular está conectado a un centro de datos tradicional. En este modelo cada vehículo almacena unos datos diferentes sin que se mantenga ninguna réplica. En caso de pérdida, los datos se reponen desde el centro de datos tradicional.

El almacenamiento en caché de contenidos y datos es una técnica importante para la optimización de redes vehiculares, puesto que reduce la duración de las transmisiones y mejora la experiencia percibida por el usuario. Al fin y al cabo, los usuarios se preocupan por la calidad del contenido y no por su ubicación. El concepto básico del almacenamiento en caché es distribuir localmente los contenidos más populares, de modo que solicitudes futuras de dichos datos se atiendan con mayor rapidez que si se tuviera que acceder a la ubicación de almacenamiento principal. En (Vigneri et al., 2016) se propone utilizar los vehículos como cachés de datos. En el marco propuesto, una estación base envía datos a los vehículos disponibles en su proximidad. La solicitud de contenidos por parte de un usuario es enrutada a los vehículos, de manera que el usuario obtiene los datos directamente desde uno de los vehículos próximos. En el caso de que los datos solicitados no se encontraran disponibles, el usuario esperaría un tiempo fijo determinado antes de reenviar la solicitud a la infraestructura de red.

CAPÍTULO 3. COMPUTACIÓN EN LA NUBE, EN EL BORDE Y EN LA NIEBLA APLICADA AL MUNDO VEHICULAR

El servicio de almacenamiento distribuido en VCC es útil para aplicaciones que requieren una cantidad significativa de almacenamiento. Sin embargo, debido a la inexistencia de una infraestructura predefinida y a la alta movilidad de los vehículos, resulta muy difícil proporcionar un servicio de almacenamiento fiable. Por este motivo, el almacenamiento VCC se utiliza sobre todo para compartir objetos inmutables.

3.2.2.3. Red como servicio

El objetivo del modelo de red como servicio es que los vehículos que no dispongan de conexión a Internet puedan conectarse a través de vehículos que sí tengan. La Figura 3.6 plasma la idea planteada en (Hussain et al., 2014), en la que se propone utilizar los autobuses públicos como *gateways* móviles. El hecho de asignar este papel a los autobuses viene motivado por las propias características de estos, como su altura, la cual supone una mejor línea de visión que aumenta el rango de comunicación, o que sus rutas y horarios están predefinidos. Este modelo se ha validado con datos reales recogidos desde los autobuses públicos de la ciudad surcoreana de Seúl. La gran limitación de este marco se encuentra en que los autobuses públicos solo funcionan durante determinadas horas del día.

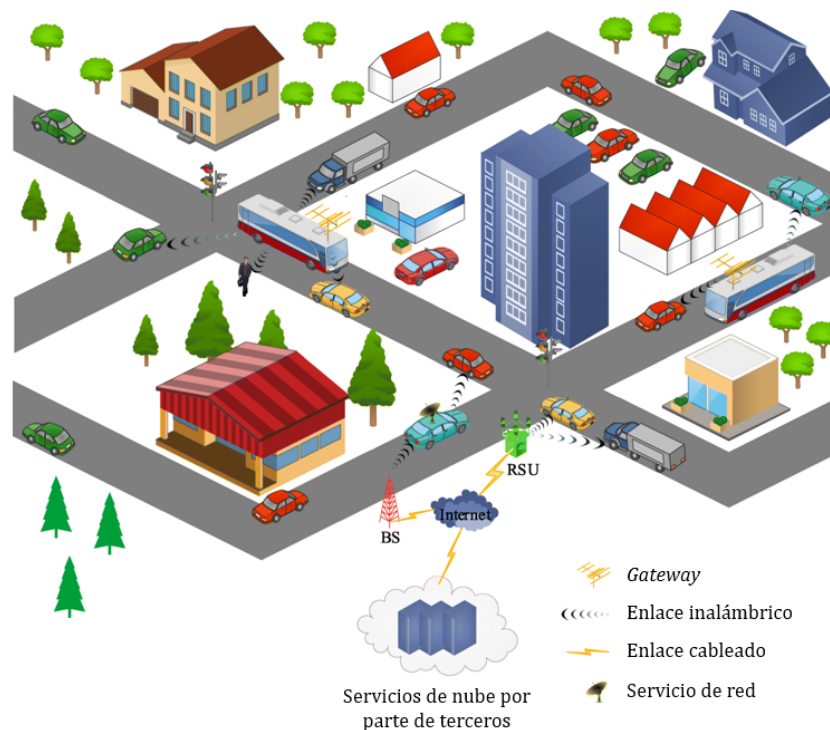


Figura 3.6: Modelo de red como servicio en el paradigma de computación en la nube para vehículos (B. Ahmed et al., 2019).

En (El Sibāi et al., 2015), se presenta una técnica para mantener la conectividad mientras el aprovisionamiento de servicios está en proceso. Como tanto el proveedor de servicios como el

CAPÍTULO 3. COMPUTACIÓN EN LA NUBE, EN EL BORDE Y EN LA NIEBLA APLICADA AL MUNDO VEHICULAR

solicitante son vehículos, la duración de su comunicación es un parámetro importante a tener en cuenta. El solicitante de servicios difunde un mensaje para la formación de una nube, indicando el tipo y la duración del servicio. Se preseleccionan los tres mejores proveedores de servicios y el solicitante decide en función de una serie de criterios, como la potencia de computación, el almacenamiento o el ancho de banda ofrecido. La formación de la nube incluye un período para encontrar vehículos voluntarios que quieran formar parte de la nube para prestar los servicios. El vehículo solicitante es también el responsable de destruir la nube una vez completado con éxito el servicio solicitado.

La principal dificultad que se encuentra en el modelo de red como servicio está en cómo garantizar cierta calidad de la experiencia y calidad de servicio, puesto que la VCC se basa en el número de vehículos disponibles en la proximidad. A esto hay que añadirle que no todos los vehículos disponibles tienen por qué querer formar parte de la nube.

3.2.2.4. Aplicación como servicio

La nube vehicular puede utilizarse para apoyar numerosas aplicaciones relacionadas con diversos aspectos, como la seguridad vial, la navegación o la disponibilidad de aparcamientos. La seguridad vial no se limita exclusivamente a los vehículos, sino que también involucra a los peatones, por lo que las aplicaciones ayudan tanto a conductores y pasajeros como a viandantes. La integración de las plataformas dedicadas a redes sociales en la nube vehicular o el entretenimiento son otras de las áreas interesantes de investigación en el ámbito vehicular.

En (Hwang et al., 2014), se presenta una aplicación para garantizar la seguridad de los peatones. Asumiendo que esta aplicación se encontrara instalada en todos los vehículos, así como en los *smartphones* de los viandantes, se podría mantener un registro en la nube de sus posiciones actuales. Si la aplicación predice una colisión, se genera un mensaje de preaviso tanto en el vehículo como en el *smartphone*. En caso de que la probabilidad de colisión aumente, el preaviso se convierte en un mensaje de aviso. Básicamente, la diferencia entre un aviso y un preaviso viene determinada por la distancia entre el vehículo y el peatón. Con el objetivo de que la aplicación sea eficiente, solo los vehículos cercanos a un peatón son considerados para la evaluación de colisión. A simple vista parece una aplicación útil, pero merece la pena plantearse hasta qué punto estas alertas pueden suponer una distracción, puesto que si una colisión es inminente, el tiempo empleado por una persona en leer el mensaje podría suponer la diferencia entre evitar o no el impacto.

En (Jeong et al., 2016), se plantea una aplicación dirigida a la navegación, cuyo objetivo es proporcionar detalles sobre la congestión del tráfico para recomendar la ruta más rápida. La columna vertebral de la aplicación es un centro de control de tráfico, el cual es el encargado de recibir y procesar las consultas de navegación que se generan desde los vehículos. Este mantiene una matriz autoadaptativa en el que se tiene en cuenta tanto la congestión de los enlaces de tráfico como el horario de los semáforos.

En (Kwak et al., 2016) se propone la idea de crear una red social en la que los usuarios compartieran imágenes, vídeos o mensajes de tráfico, todo ello geoetiquetado. Agrupando todas

las entradas relacionadas con una misma ubicación, la aplicación realizaría un procesamiento para mostrar un resumen de tráfico sobre la zona. La limitación se encuentra en que el rendimiento del sistema depende del número de usuarios que estén dispuestos a compartir su información, el cual podría ser prácticamente nulo en rutas en las que la densidad del tráfico sea muy baja.

En (Jelassi et al., 2015) se presenta un marco en el que se explotan la nube tradicional, las RSUs y la nube vehicular para proporcionar *streaming* de vídeo a terminales móviles finales. Los vehículos solicitan el contenido a las RSUs de las carreteras, las cuales actúan como servidores. Si no son capaces de encontrar el vídeo solicitado, reenvían la solicitud a la nube tradicional para obtenerlos.

Las aplicaciones prestadas pueden estar también dirigidas a su utilización por organismos de seguridad. En (Mallissery et al., 2015) se plantea el desarrollo de una aplicación a través de la cual la policía pudiera supervisar infracciones a distancia. Todos los vehículos en movimiento formarían parte de una nube gestionada por la policía, en la cual se registrarían los valores de velocidad enviados por los sensores a bordo de los vehículos, junto con su ubicación de procedencia, para compararlos con los límites de velocidad existentes en cada carretera.

La naturaleza altamente dinámica de las redes vehiculares unida al uso de un medio inalámbrico, en el cual los problemas relacionados con las interferencias son comunes, restringen el rendimiento de VCC para proporcionar aplicaciones de entretenimiento. Para poder hacer frente a los problemas de conexión, en (Ghazizadeh, Mukkamala, y Fathi, 2015) se propuso un mecanismo de asignación de tareas distribuido y tolerante a fallos, que no requiere del almacenamiento de estados en un servidor central. El funcionamiento del mecanismo se basa en la asignación de cada tarea a dos vehículos. Como los vehículos pueden abandonar la red en cualquier momento, cada vehículo de un par se mantiene pendiente del otro. En el momento en que uno vaya a abandonar la red, el otro detiene su ejecución y copia el estado del vehículo que abandona. Dicha copia es almacenada a la espera de encontrar un nuevo vehículo disponible al que pasárselo. Cuando eso ocurre, se deshace de la copia y ambos vehículos reanudan la ejecución de la tarea.

3.3. Computación en el borde y en la niebla para vehículos

Los vehículos inteligentes utilizan aplicaciones computacionalmente muy intensas y sensibles al retardo para diferentes fines, como la navegación *online*, el reconocimiento del estado de una carretera, mapas en tiempo real de alta precisión o asistencia en la conducción. La principal deficiencia existente en la conexión directa entre un vehículo y los servidores centrales remotos de la nube tradicional es el retardo introducido en la comunicación debido a la larga distancia que los separa. Las OBUs tienen una capacidad de computación muy pequeña en comparación con estos servidores, por lo que para la mayoría de las tareas los vehículos necesitan realizar consultas a los servidores de la nube.

Tanto el paradigma de computación en el borde como el de computación en la niebla son soluciones para atajar el problema de retardo mencionado, puesto que, como se explicó previa-

CAPÍTULO 3. COMPUTACIÓN EN LA NUBE, EN EL BORDE Y EN LA NIEBLA APLICADA AL MUNDO VEHICULAR

mente en la *Sección 2.6*, el propósito de ambos es acercar el procesamiento y almacenamiento de los datos hacia los dispositivos que los generan. De esta forma, se consigue reducir el número de veces que los vehículos tienen que acceder a los servidores centralizados remotos de la nube tradicional, los cuales pueden estar situados a miles de kilómetros.

Prácticamente, los conceptos de computación en el borde para vehículos o VEC (*Vehicular Edge Computing*) y de computación en la niebla para vehículos o VFC (*Vehicular Fog Computing*) se solapan. En las redes VEC se consideran dos tipos distintos de nodos de borde. Por un lado, están los llamados dispositivos de borde, que son los propios vehículos inteligentes, puesto que son capaces, en parte, de procesar y almacenar la información que generan. Por otro lado, se tienen los servidores de borde, que son los nodos a los que los dispositivos de borde escalan las tareas de mayor complejidad. Este concepto de servidor de borde es lo que en VFC se conoce como nodo de niebla. Independientemente del nombre, la idea que representan es la misma, introducir nodos distribuidos entre vehículos y nube para proporcionar servicios de computación y almacenamiento en caché en la proximidad de los vehículos. Esto, además de resultar un método de reducir el retardo, supone otras múltiples ventajas:

- Menor consumo de energía: establecer y mantener una conexión supone un alto coste de energía, por lo que conexiones de menor duración suponen un menor consumo de energía.
- Reducción de la latencia: la latencia es la suma de retardos temporales dentro de una red, por lo que reducir la demora en la propagación y transmisión de paquetes durante la comunicación supone contribuir a la reducción de la latencia.
- Mayor velocidad de la red: evidentemente, al estar más cerca de los vehículos, el tiempo de respuesta de los servidores de borde o nodos de niebla va a ser menor que el que darían los servidores remotos de la nube. Además, el tiempo de respuesta de los centros de datos de la nube también va a ser más rápido en comparación con el dado en un modelo VCC tradicional, puesto que al reducirse el número de paquetes que viajan hasta la nube, la congestión de la red va a ser menor y por ende la velocidad de la red va a ser mayor.

El principal obstáculo al que se enfrentan VEC y VFC es su enorme complejidad. Una estructura distribuida siempre supone mayor complicación que una centralizada, puesto que requiere evaluar un gran cantidad de aspectos como, por ejemplo, cómo administrar de manera efectiva y eficiente los recursos disponibles en los nodos de borde o niebla para cumplir con las demandas dinámicas de los usuarios, cuántos nodos se necesitan y dónde ubicarlos o cómo garantizar la seguridad y privacidad dentro de los nodos, puesto que podrían existir vehículos maliciosos que envíen falsas señales de interferencia para interrumpir un enlace de comunicación (Raza et al., 2019) (Keshari et al., 2022).

La Tabla 3.2 recoge una comparativa entre los tres paradigmas de computación aplicados a vehículos vistos. En ella se presentan los principales aspectos en los que se diferencia la VCC de la VEC y la VFC, los cuales vienen a ser una prolongación de los presentados en la Tabla 2.2. Al fin y al cabo los paradigmas basados en computación en la nube van a estar siempre caracterizados por distribuciones centralizadas, tomas de decisiones a kilómetros de los usuarios

CAPÍTULO 3. COMPUTACIÓN EN LA NUBE, EN EL BORDE Y EN LA NIEBLA
APLICADA AL MUNDO VEHICULAR

y grandes capacidades de computación y almacenamiento, mientras que los fundamentados en computación en la niebla o en el borde van a diferenciarse por contar con arquitecturas distribuidas, por tomar decisiones a nivel local y por contar con unos recursos tecnológicos más limitados.

	Computación en la nube para vehículos	Computación en la niebla/borde para vehículos
Distribución geográfica	Centralizada	Distribuida
Toma de decisiones	De forma remota	De forma local
Proximidad al usuario	Lejana	Cercana
Capacidad de computación	Alta	Media
Capacidad de almacenamiento	Alta	Media
Latencia	Alta	Muy baja
Consumo de ancho de banda	Alto	Muy bajo

Tabla 3.2: Comparativa entre los paradigmas de computación en la nube para vehículos y computación en la niebla o en el borde para vehículos.

3.3.1. Arquitectura

La Figura 3.7 muestra cómo sería un escenario VEC o VFC. Las RSUs representarían a los nodos intermedios entre los vehículos y la nube, con los cuales los vehículos se comunican estableciendo enlaces V2I, aquí llamados V2R (*Vehicle to RSU*).

La arquitectura de VEC o VFC consiste en tres capas, una de nube, otra de borde o niebla y una tercera de usuario. Esta última se refiere principalmente a los vehículos inteligentes, vehículos con capacidad de detección, comunicación, computación y almacenamiento. También pertenecen a esta capa otros dispositivos de usuario, como teléfonos móviles.

Los datos generados en la capa de usuario son procesados por la capa de borde o niebla. Esta capa está constituida, respectivamente, por los servidores de borde y los nodos de niebla, infraestructuras fijas que suelen desplegarse junto a las RSUs para estar cerca de los usuarios finales. Como el rango de comunicación entre los vehículos y estos nodos es pequeño, para alcanzar los requisitos de tiempo real de los usuarios los vehículos pueden delegar el procesamiento de una tarea computacional a uno de los nodos y descargar el contenido resultante de dicha tarea de otro nodo. La capa de borde contiene tres tipos de recursos, uno de comunicación, otro de computación y otro de almacenamiento. El primero de ellos se refiere principalmente

CAPÍTULO 3. COMPUTACIÓN EN LA NUBE, EN EL BORDE Y EN LA NIEBLA APLICADA AL MUNDO VEHICULAR

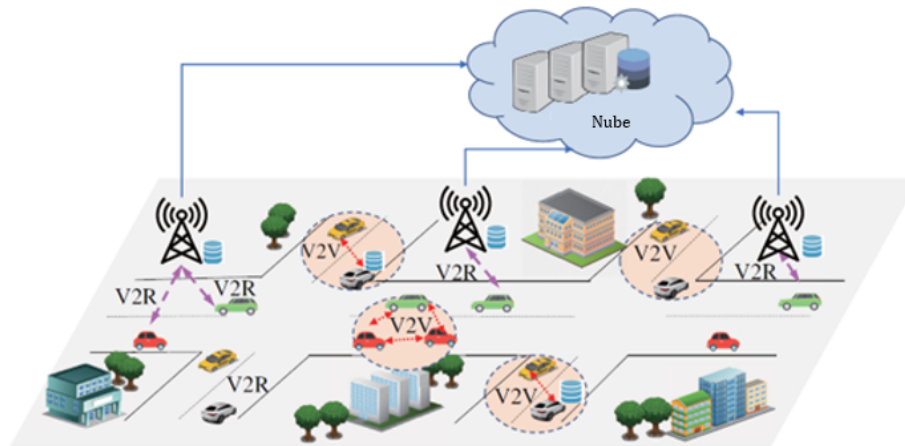


Figura 3.7: Paradigma de computación en el borde o en la niebla para vehículos (Dai y Zhang, 2022).

al espectro y ancho de banda de los enlaces inalámbricos, cuyo fin es proveer de interfaces de radio a los vehículos para que puedan establecer comunicaciones inalámbricas instantáneas. Los recursos de computación y almacenamiento se refieren a las capacidades de los servidores de borde. Generalmente, los tres recursos son limitados y requieren de un esquema de distribución eficiente para una mejor utilización de los recursos.

La capa de la nube consiste en los servidores remotos de la nube tradicional. Estos servidores centralizados cuentan con unas capacidades de computación y de almacenamiento enormes, suficientes para proveer a los usuarios de cualquier tipo de servicio. Además, la capa de nube puede también administrar y controlar los nodos de la capa de borde o niebla (Dai y Zhang, 2022).

3.3.2. Servicios

La capa de borde o niebla proporciona a los usuarios los servicios que en VCC son dados por la capa de nube (Raza et al., 2019) (Keshari et al., 2022):

- **Información y entretenimiento como servicio:** este modelo de servicio aboga por ofrecer servicios que mejoren tanto la calidad de experiencia del usuario como la seguridad de los pasajeros. En cuanto a la información, el objetivo es ofrecer datos útiles en forma de consejos y avisos para minimizar posibles situaciones de riesgo. Respecto al entretenimiento, la única intención es que los desplazamientos sean lo más llevaderos posibles, ofreciendo servicios como música, juegos o películas que hagan los viajes más amenos.
- **Red como servicio:** el objetivo de este modelo es que los usuarios que tengan conexión a Internet puedan facilitársela a otros usuarios proporcionándoles conexión a través de un vehículo o de un servidor de borde o nodo de niebla. Este servicio cobra especial valor en situaciones de emergencia.

CAPÍTULO 3. COMPUTACIÓN EN LA NUBE, EN EL BORDE Y EN LA NIEBLA APLICADA AL MUNDO VEHICULAR

- Almacenamiento como servicio: los nodos de la capa de borde o niebla pueden proporcionar el almacenamiento necesario para que un vehículo pueda ejecutar su aplicación o guardar información temporalmente.
- Computación como servicio: este modelo de servicio trata de aprovechar la unión de varios nodos de forma que, coordinados correctamente, un conjunto de nodos de niebla o servidores de borde pueda llevar a cabo tareas computacionales de alta complejidad sin necesidad de escalarlas a la capa de nube.

Capítulo 4

Computación en la nube aplicada al mundo vehicular eléctrico

4.1. Vehículos eléctricos

El vehículo eléctrico es un tema de rigurosa actualidad. Cada vez hay más vehículos de este tipo y la mayoría de marcas automovilísticas ofrecen, al menos, un modelo eléctrico dentro de su catálogo. A pesar de que parezca que se trata de un invento actual, el primer vehículo eléctrico data de 1834. Fue en dicho año cuando un herrero llamado Thomas Davenport construyó un pequeño tren de juguete que rodaba en una pista circular movido por una batería eléctrica. El problema de la época era que no existían baterías recargables, por lo que este tipo de vehículo resultaba muy poco práctico. Años más tarde, concretamente en el año 1850, el francés Gaston Planté hizo realidad la primera batería de plomo y ácido recargable, que permitía que el vehículo no tuviera que estar conectado a la red. En 1888 aparecería en Alemania el que es considerado el primer coche eléctrico, el *Flocken Elektrowagen*.

Durante las primeras décadas del siglo XX, los vehículos eléctricos y los de combustión compartían las calzadas. Diversos factores fueron inclinando la balanza en contra de los vehículos eléctricos, hasta el punto de que en los años 30 cesó la fabricación del coche eléctrico. Esto se debió, principalmente, a dos factores, la autonomía y el precio. Por un lado, los vehículos de gasolina podían trasladarse sin problema de una ciudad a otra, mientras que la autonomía de los vehículos eléctricos no superaba los 25 kilómetros. Por otro lado, un coche eléctrico costaba tres veces más que su equivalente de gasolina. En 1908, Henry Ford revolucionó el sector automovilístico al presentar el primer coche de gasolina fabricado con un sistema de producción en cadena, lo cual abarataba considerablemente el precio final.

En la década de los 70, la crisis energética que tuvo lugar produjo un aumento del precio de la gasolina. Esto, unido a que la sociedad en los países avanzados comenzó a tomar conciencia de los efectos de la emisión a la atmósfera de los gases de combustión del petróleo, supuso el resurgimiento de la industria del vehículo eléctrico (Moreno, 2016).

El progresivo agotamiento de las fuentes de combustibles fósiles y la creciente preocupación por el cambio climático ha puesto contra las cuerdas a los motores de combustión en la actualidad. En el año 2021, en España se aprobó la Ley de Cambio Climático y Transición Energética, en la que se afirma que se adoptarán las medidas necesarias para que a partir de 2040 no se puedan vender vehículos de combustión. Además, se incluyen una serie de normas con el objetivo de restringir el uso de los vehículos más contaminantes en las almendras centrales de los grandes núcleos urbanos (Jefatura del Estado, 21 de Mayo de 2021). Todas estas propuestas están obligando a los fabricantes de vehículos a electrificar sus modelos a marchas forzadas. No obstante, existen limitaciones como la duración y autonomía de las baterías y la disponibilidad de puntos de recarga que obstaculizan la prosperidad de los vehículos eléctricos.

4.1.1. Tipos de vehículos eléctricos

Cualquier vehículo que está impulsado por uno o más motores alimentados por una fuente de energía eléctrica es considerado como un vehículo eléctrico. Esta definición incluye a los vehículos híbridos, puesto que son vehículos que disponen de motores eléctricos además de motores de combustión interna. Existen diferentes tipos:

- Vehículo eléctrico híbrido o HEV (*Hybrid Electric Vehicle*): es lo que se conoce vulgarmente como híbrido no enchufable. El motor eléctrico y el motor térmico funcionan de una forma independiente. En determinadas situaciones y durante un breve período de tiempo, el vehículo se puede propulsar exclusivamente gracias al motor eléctrico. Las baterías se recargan a partir de la recuperación de la energía producida durante las frenadas y las deceleraciones.
- Vehículo eléctrico híbrido enchufable o PHEV (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle*): se diferencia de los HEV en una mayor capacidad de la batería, lo cual proporciona autonomía, utilizando exclusivamente energía eléctrica, durante decenas de kilómetros. La energía que logran recuperar de las frenadas y deceleraciones no es suficiente para cargar las grandes baterías que poseen, por lo que se requiere de la conexión a una toma de corriente eléctrica.
- Vehículo eléctrico de alcance extendido o REEV (*Range Extended Electric Vehicle*): al igual que el HEV y el PHEV, este tipo de vehículo cuenta tanto con motor eléctrico como con motor combustión. La diferencia con los anteriores se encuentra en que el motor de combustión se utiliza exclusivamente para generar electricidad. De esta forma, las baterías se pueden recargar tanto enchufando el coche a la red eléctrica como a través del motor de combustión.
- Vehículo eléctrico de batería o BEV (*Battery Electric Vehicle*): es lo que se considera un vehículo cien por cien eléctrico. En el momento que la batería se descarga, no existe un motor térmico de respaldo. Pueden recuperar algo de energía con las frenadas y deceleraciones, pero indispensablemente requieren de un punto de carga donde enchufarse para funcionar con normalidad.

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

- Vehículo eléctrico de pila de combustible o FCEV (*Fuel Cell Electric Vehicle*): en este tipo de vehículos el combustible para la propulsión es facilitado por una pila de combustible. Las más comunes son las pilas de combustible de hidrógeno. Al reaccionar químicamente, el hidrógeno cede electrones formando una corriente eléctrica que pasa por la pila de combustible y alimenta al motor o motores eléctricos. El único desecho que se obtiene de este proceso es vapor de agua.

Todos estos tipos de vehículos, a excepción de los HEV, son considerados por la DGT como aptos para el distintivo ambiental de cero emisiones (Dirección General de Tráfico, 10 de febrero de 2022). Sin embargo, sólo el BEV y el FCEV producen realmente cero emisiones, puesto que son los únicos que no cuentan con motores de combustión. Respecto al FCEV, cabe decir que está actualmente muy poco desarrollado, puesto que la tecnología no se encuentra muy madura y su precio de adquisición es muy elevado.

A partir de ahora y hasta el final del presente documento, el término de vehículo eléctrico va a utilizarse para hacer referencia a los BEV y a los PHEV, que son los dos tipos de vehículos enchufables más comercializados. Por tanto, se va a considerar que un vehículo eléctrico es aquel que dispone de un motor eléctrico alimentado por baterías, las cuales se recargan enchufando el vehículo a una toma de corriente.

4.1.2. Componentes de los coches eléctricos

Un coche eléctrico se compone, a grandes rasgos, de los siguientes elementos:

- Motor eléctrico: se encarga de transformar la energía eléctrica en mecánica para mover el vehículo. Puede ser de corriente alterna (AC), como en el caso de la Figura 4.1, o de corriente continua (DC), como en la Figura 4.2. Se puede apreciar que la única diferencia del primero con el segundo está en que el motor no se alimenta directamente desde la batería principal, sino que la corriente continua salida de la batería se hace pasar por un inversor que la convierte en la corriente alterna que necesita el motor eléctrico.
- Cargador: es el elemento que absorbe la electricidad de forma alterna desde la red y la transforma en corriente continua.
- Batería: su función es almacenar la energía que le cede el cargador en forma de corriente continua. Debido a sus propiedades, las baterías de ion de litio son las más utilizadas en la actualidad.
- Inversor: elemento necesario en los coches con motor eléctrico de corriente alterna, puesto que es el encargado de transformar la corriente continua que cede la batería principal en la corriente alterna que necesita el motor eléctrico para su funcionamiento. También se ocupa de la recuperación de energía en la frenada regenerativa.
- Conversor: transforma la alta tensión de corriente continua procedente de la batería principal en baja tensión para alimentar las baterías auxiliares de 12V, que son las que

alimentan los componentes auxiliares eléctricos del coche, como el cuadro de mandos o los sensores.

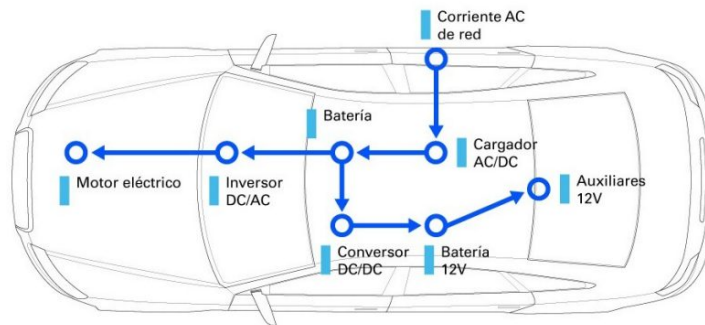


Figura 4.1: Funcionamiento eléctrico de un coche con motor eléctrico de corriente alterna (Hwang et al., 2014).

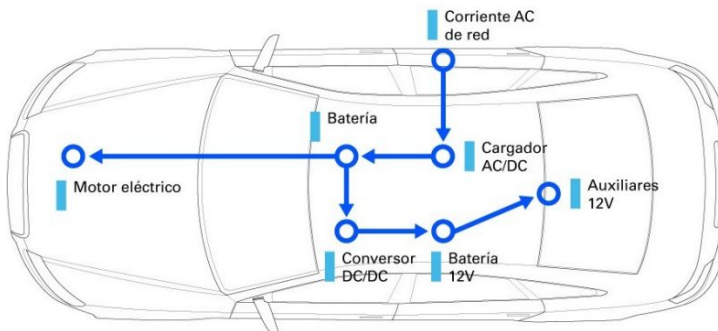


Figura 4.2: Funcionamiento eléctrico de un coche con motor eléctrico de corriente continua (Hwang et al., 2014).

Además, cabe mencionar otros dos componentes que cobrarán importancia en la siguiente sección:

- **BMS (*Battery Management System*):** los vehículos eléctricos cuentan con un sistema de gestión de la batería o BMS, que se encarga de procesar una gran cantidad de datos sobre el coche, especialmente sobre la batería. Por ejemplo, controla su carga y descarga y asegura que los ciclos se llevan a cabo correctamente y de la misma forma en todas las celdas al mismo tiempo. Además, el BMS es la unidad encargada de comunicarse con otras unidades fuera de la batería, como la que controla el motor eléctrico y la velocidad del

automóvil (Mohammadi y Rashidzadeh, 2021). Entre los datos típicos recogidos por un BMS se encuentran valores de corriente, tensión, hora, ubicación, temperatura ambiente o temperatura de la célula de la batería (Yang et al., 2021).

- ECU (*Electronic Control Unit*): la unidad de control eléctrica o ECU se encarga de la coordinación de todos los elementos del sistema eléctrico, entre los que se incluyen los mencionados hasta el momento. En todo instante debe conocer la carga de la batería, así como el programa de conducción seleccionado (Kaur et al., 2019).

4.2. Computación en la nube para vehículos eléctricos

La adopción masiva de vehículos eléctricos se enfrenta, principalmente, a dos grandes barreras. Por un lado, está la conocida vulgarmente como “ansiedad de la autonomía”, que es la preocupación de los consumidores acerca de aspectos como la limitada autonomía, el tiempo de demora de la recarga de las baterías o la escasez de puntos de recarga. Por otro lado, se encuentra el problema de la integración de los vehículos eléctricos en la red eléctrica, puesto que la irrupción de una gran flota de vehículos eléctricos podría causar un impacto significativo en la ya de por sí sobrecargada red eléctrica tradicional.

Aplicar la computación en la nube al mundo de los vehículos eléctricos puede ayudar a solventar los inconvenientes mencionados. A continuación, se enumeran algunos de los beneficios y funciones clave que ofrece este paradigma tecnológico dentro del panorama de los vehículos eléctricos:

- Gestión y análisis de datos: los vehículos eléctricos generan constantemente grandes cantidades de datos, por ejemplo, información relativa al estado de la batería, al rendimiento del motor o al consumo de energía. Mediante el uso de la computación en la nube, estos datos se pueden enviar y almacenar de forma segura en servidores remotos, facilitando un análisis y procesamiento posterior en busca de información valiosa que pueda ayudar en la mejora de la eficiencia del vehículo, el diagnóstico de problemas y la optimización del rendimiento.
- Actualizaciones de *software*: los vehículos eléctricos modernos están compuestos por una gran cantidad de sistemas electrónicos y de *software*. La computación en la nube permite a los fabricantes de vehículos enviar actualizaciones de *software* de manera remota a través de una conexión inalámbrica. Esto supone un ahorro de costes al fabricante, puesto que no tienen que revisar el vehículo presencialmente, y una mejora en la experiencia del usuario, debido a que los conductores pueden recibir mejoras en las funciones del vehículo, correcciones de errores y actualizaciones de seguridad sin tener que llevar el vehículo físicamente al taller.
- Servicios de navegación y asistencia al conductor: los servicios de navegación basados en la nube, como los mapas actualizados en tiempo real y las direcciones de navegación, pueden proporcionar información precisa y actualizada para los conductores de vehículos

eléctricos. Además, la computación en la nube puede admitir sistemas de asistencia al conductor, como la detección de colisiones, el control de crucero adaptativo y la asistencia para el estacionamiento, mejorando así la seguridad y la comodidad de conducción.

- **Infraestructura de carga inteligente:** la computación en la nube puede desempeñar un papel fundamental en la gestión de la infraestructura de carga para vehículos eléctricos. Si se conectan las estaciones de suministro eléctrico a la nube, se pueden recopilar datos en tiempo real sobre, por ejemplo, el uso de la carga, la disponibilidad de las estaciones o los patrones de demanda. Esta información puede ayudar a optimizar la ubicación de las estaciones de carga, predecir la demanda futura y gestionar eficientemente la distribución de energía eléctrica.

4.2.1. Soluciones para reducir la ansiedad de la autonomía

Mientras que para los propietarios de vehículos de gasolina o diésel consultar, antes de realizar un viaje, dónde van a poder encontrar una gasolinera parece una situación excepcional, para los conductores de coches eléctricos resulta una tarea imprescindible.

La autonomía de un vehículo eléctrico, así como el tiempo que tarda en recargarse, son aspectos muy específicos de cada modelo, por lo que se va a tratar de contextualizar en líneas generales para poner en valor estos aspectos con cifras.

Según diferentes fuentes consultadas, la autonomía media de un vehículo eléctrico de gama media ronda los 300 kilómetros (BBVA, s.f.). El tiempo que tarda en recargarse varía en función del tipo de batería y de la potencia del cargador. Se pueden distinguir cuatro tipos de carga en función de su duración (REPSOL, s.f.):

- **Carga lenta:** es la más habitual en el entorno doméstico. Suele tardar entre 4 y 8 horas, en función de la potencia suministrada. La potencia recomendada en este tipo de carga para que la duración sea de unas 4 horas es 7.4 kW.
- **Carga semi-rápida:** requiere de entre 1 y 3 horas para cargar el coche. 22 kW es la potencia máxima para este tipo de carga.
- **Carga rápida:** este tipo de carga se caracteriza por conseguir cargar los coches a un 80 % en aproximadamente 30 minutos. Se recomienda que, alcanzado ese valor, se abandone el punto de recarga, puesto que la recarga del 20 % restante se demora ostensiblemente.
- **Carga ultrarrápida:** permite tener la batería completamente cargada en tan solo 10 minutos, aunque solo es apta para modelos específicos de coches eléctricos y el número de puntos de carga de este tipo brilla por su escasez.

Según los datos del cuarto trimestre de 2022 publicados por la ANFAC (Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones) en el llamado Barómetro de la Electromovilidad, en España existen 18128 puntos de recarga para coches eléctricos de acceso público (ANFAC,

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

27 de febrero de 2023). Esto supone que, por cada millón de habitantes, existen unos 350 puntos de carga, un dato que sitúa a España a la cola de los países europeos, donde la media de puntos de carga por millón de habitantes ronda los 600, es decir, casi el doble. Lógicamente, la mayoría de puntos de carga se concentran en las comunidades con mayor número de habitantes, tal y como puede observarse en la Figura 4.3.

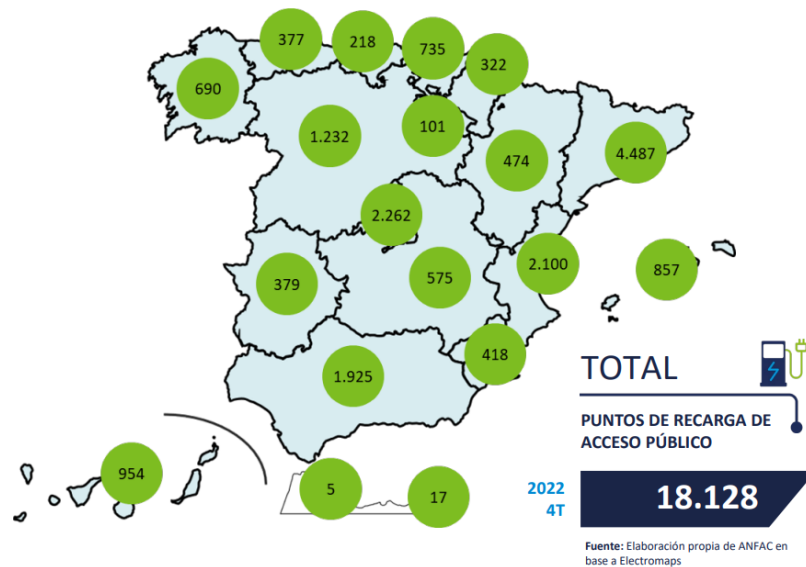


Figura 4.3: Puntos de recarga de acceso público para vehículos eléctricos en España (ANFAC, 27 de febrero de 2023).

Además de la escasez respecto al resto de vecinos europeos, el problema de España radica en que el 79 % de los puntos existentes ofrecen una potencia por debajo de 22 kW, por lo que, de media, el tiempo que un vehículo va a tener que permanecer enchufado para cargarse por completo es de 3 horas (ANFAC, 27 de febrero de 2023).

Construir más estaciones de carga o utilizar baterías más eficientes para alargar la autonomía de los vehículos eléctricos parecen las respuestas más evidentes ante la pregunta de cómo reducir la ansiedad de la autonomía. Sin embargo, estas soluciones requieren, primero, de un tiempo de estudio e investigación y, segundo, de cuantiosas inversiones económicas. Ante esta disyuntiva, el uso de la tecnología es siempre una solución para ayudar a mejorar la eficiencia de los sistemas ya existentes. La Tabla 4.1 recoge seis artículos es los que se plantean soluciones basadas en computación en la nube para paliar el mencionado problema de la autonomía. Los tres primeros tienen como objetivo mejorar la eficiencia de los sistemas de batería existentes, mientras que los otros tres estudios se centran en soluciones cuyo propósito es reforzar la confianza de los usuarios sobre el uso de vehículos eléctricos.

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

Referencia	Objetivo	Enfoque	Propuesta
(Karnehm et al., 2023)	Supervisar los sistemas de batería	Propuesta implementada en la vida real	Combinar dispositivos IoT con computación en la nube para monitorizar en tiempo real el estado de un vehículo desde cualquier lugar del mundo. Para ello, se propone una arquitectura en la que mediciones de variantes estacionarias y móviles de un sistema de batería reconfigurable son enviadas a la nube de AWS para analizarlas y almacenarlas. Además, se aprovechan los servicios de AWS para ofrecer una aplicación web para la visualización y análisis detallado de los datos tanto en tiempo real como históricos
(Tran et al., 2022)	Evolucionar los BMS	Teórico	Un BMS basado en la nube pasa resolver los problemas de capacidad computacional y de almacenamiento de datos de un BMS tradicional. La solución de la nube permite desarrollar algoritmos para las baterías más precisos y fiables, así como generar otras funciones más complejas para la gestión de las baterías, mejorando el rendimiento general de estas
(Li et al., 2020)	Evolucionar los BMS	Propuesta implementada en la vida real	Implementar un BMS en la nube para construir un gemelo digital de los sistemas de batería, liberando las limitaciones de computación y almacenamiento de datos de los BMS a bordo. La información de las baterías conectadas con la nube es compartida mediante un componente IoT, lo que permite la comunicación
(Peng Mei, 2023)	Mejorar la precisión de la estimación de autonomía restante	Teórico	Utilizar los datos obtenidos de los vehículos eléctricos para, en la nube, construir un gemelo digital de un sistema de batería y modelar algoritmos de aprendizaje para predecir, con precisión y en tiempo real, el ritmo al que va a ser consumida la energía restante en una batería y, así, determinar el tiempo de autonomía sobrante
(Chakraborty et al., 2022)	Recargar los vehículos eléctricos sin necesidad de infraestructuras de carga en las que estacionar	Propuesta implementada en un simulador	Un enfoque escalable para la recarga de vehículos eléctricos basado en un método de compartición de carga entre iguales. Coordinado por un sistema de control basado en la nube, los vehículos pueden compartir energía entre sí mientras están en movimiento. Para que la energía total del marco propuesto no disminuya drásticamente, se introducen vehículos auxiliares que solo donan energía

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

Referencia	Objetivo	Enfoque	Propuesta
(Liu et al., 2018)	Incrementar la seguridad	Teórico	Aprovechar las propiedades y características de <i>blockchain</i> para abordar los problemas de seguridad. En esta tecnología las transacciones están protegidas criptográficamente y son inmutables, por lo que los datos no se pueden modificar ni eliminar, garantizando la integridad de los datos. Además, la naturaleza distribuida y descentralizada de este paradigma permite manejar una mayor cantidad de nodos y transacciones simultáneamente, así como mejorar la tolerancia a fallas, de manera que si falla un nodo o una transacción, el resto de la red no se ve afectada

Tabla 4.1: Ejemplos de aplicaciones de la computación en la nube en el mundo vehicular eléctrico para reducir la “ansiedad de la autonomía”.

4.2.1.1. Monitorización de un sistema de batería

En (Karnehm et al., 2023), se propone una arquitectura en la nube para la monitorización de la condición de un sistema de batería reconfigurable para vehículos eléctricos. La arquitectura combina dispositivos IoT con computación en la nube para analizar y almacenar mediciones del sistema de batería. La Figura 4.4 muestra el marco planteado. En él se pueden diferenciar claramente tres bloques, los cuales se irán comentando a continuación.

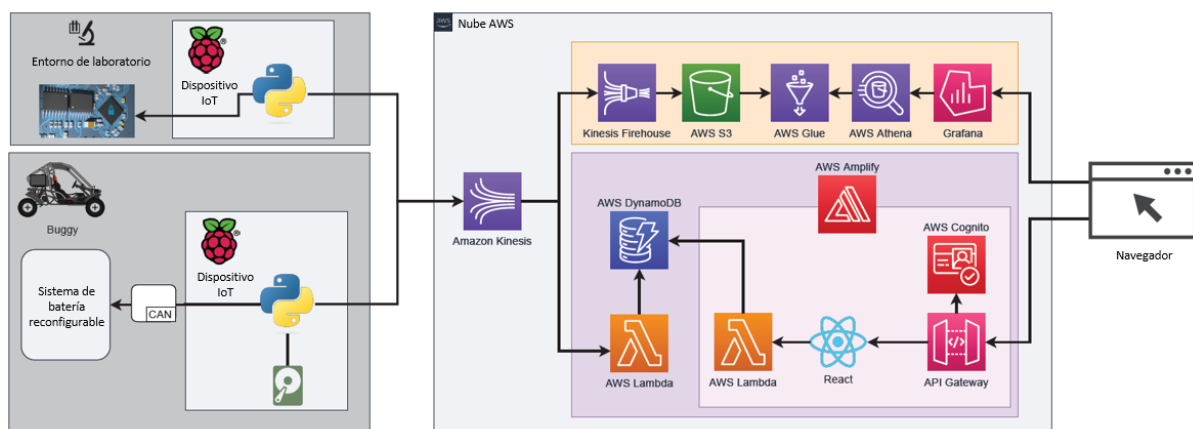


Figura 4.4: Arquitectura del sistema propuesto para almacenar y analizar en la nube mediciones de sistemas estacionarios y móviles (Karnehm et al., 2023).

El vehículo utilizado como unidad de pruebas fue un *buggy* para la playa, el cual manipularon para conectarle al motor un sistema de batería reconfigurable. Para poder gestionar la batería, introdujeron una unidad de control y un módulo Raspberry Pi que actuara como puerta de enlace

IoT. La unidad de control utilizada dispone de dos interfaces, a las que conectaron, por un lado, mediante un bus CAN (*Controller Area Network*), la batería, para poder reconfigurar los módulos de su sistema y, por otro, la Raspberry, para la transmisión de datos. A diferencia de los sistemas de baterías convencionales, en una reconfigurable se puede medir el voltaje, la corriente y la temperatura de cada una de las celdas de la batería. Estos datos, entre otros, son los que se envían al proveedor de nube, catalogados como mediciones del sistema móvil.

El otro tipo de mediciones enviadas a la nube son las llamadas medidas del sistema estacionario, que son las que se obtenían desde un entorno de laboratorio en el que se trata de emular las condiciones en el vehículo. En él, se disponía de los siguientes instrumentos: un módulo de batería reconfigurable, resistencias de carga, fuentes de alimentación, un voltímetro y un osciloscopio. Además, al igual que en el *buggy*, se tenía una Raspberry Pi para publicar los datos en la nube. Con todos estos instrumentos podían registrar y analizar una gran cantidad de datos. Por ejemplo, uno de los indicadores clave de un sistema alimentado por batería es su eficiencia. Este parámetro no es más que un cociente entre la potencia de salida y la potencia de entrada, por lo que se puede calcular fácilmente al monitorizar la potencia de salida de las células de la batería, conocidas la tensión y corriente de cada célula de batería.

Dentro del recuadro llamado nube AWS se encuentran los servicios AWS utilizados. Estos pueden separarse en tres categorías en función de su objetivo de utilización: recolección de datos, análisis en tiempo real y análisis histórico. En la arquitectura propuesta los autores se decantaron por utilizar AWS, pero se podría haber utilizado de igual manera los servicios de cualquier otro proveedor de nube pública, como Azure o GCP.

En cuanto a la recolección de datos, existe una amplia variedad de servicios en AWS para manejar cargas de trabajo de datos con una alta frecuencia. En este caso, los autores optaron por Amazon Kinesis, un servicio para procesar flujos en tiempo real, que a la vez va a actuar como punto de conexión a la nube.

Los servicios utilizados para el análisis histórico de datos son los que se presentan en la Figura 4.4 sobre el recuadro anaranjado. AWS S3 es el servicio de almacenamiento donde se van a ir almacenando los sucesivos datos. Las mediciones del flujo de datos se transfieren a S3 mediante Kinesis Firehouse. Para consultar los datos almacenados en S3 se utilizan los servicios Glue y Athena, los cuales permiten preparar métodos de análisis a partir de los datos en bruto. Por último, para el análisis visual de los datos históricos, se utiliza Grafana.

Para poder monitorizar las mediciones del sistema móvil en tiempo real y desde cualquier lugar del mundo, los autores desarrollaron una aplicación web. Debajo del recuadro anaranjado, un nuevo recuadro, en este caso morado, engloba a los servicios utilizados para el análisis de datos en tiempo real. Amplify es el servicio utilizado para la creación y mantenimiento de la aplicación web. Concretamente, se desarrolló con la librería de JavaScript React. Amplify se complementa con el uso de Cognito para controlar el acceso y las identidades, y AWS API Gateway para garantizar API seguras y escalables. Lambda es un servicio que ejecuta código en respuesta a eventos y administra automáticamente los recursos informáticos requeridos por medio de código. En la arquitectura presentada se va a utilizar para acceder al servicio

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

DynamoDB, un servicio de bases de datos NoSQL donde se almacenan las mediciones actuales analizadas. Conservar las mediciones de manera temporal resulta la forma más sencilla de acceder a los datos en un rango de tiempo especificado.

La mencionada aplicación web tiene un aspecto como el mostrado en la Figura 4.5. Se presentan, de arriba a abajo, los valores actuales de voltaje y corriente a la salida, el porcentaje de eficiencia del sistema de batería, la evolución de la tensión en voltios a la salida y la evolución de la corriente en amperios de cada una de las celdas de la batería.

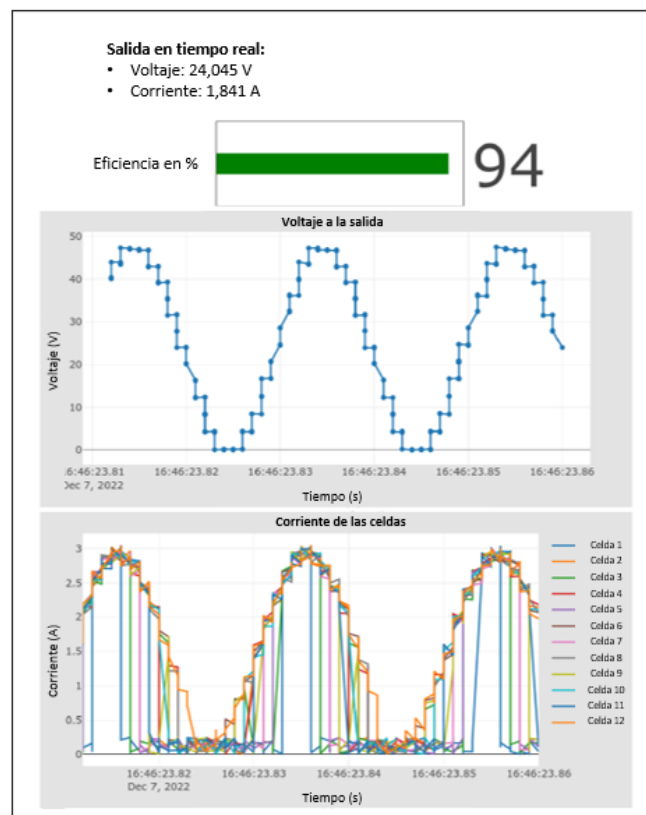


Figura 4.5: Aplicación web para el análisis en tiempo real (Karnehm et al., 2023).

A modo de conclusión, el trabajo analizado demuestra que utilizar la infraestructura en la nube permite ampliar aún más las técnicas de monitorización. La arquitectura propuesta ofrece la oportunidad de disponer del seguimiento detallado de la condición de un sistema de batería desde cualquier lugar del mundo. La integración de las mediciones bajo condiciones de laboratorio con las del vehículo real facilita realizar comparaciones entre los dos escenarios. Junto al análisis de las desviaciones entre el comportamiento esperado y el real, las observaciones monitorizadas pueden ser recreadas y verificadas con un alto nivel de automatización. Además, los datos almacenados pueden utilizarse para desarrollar y analizar modelos de aprendizaje automático para la detección precoz de fallos y errores, lo que se traducirá en una mayor autonomía de los vehículos eléctricos y una mayor vida útil de las baterías.

Por otro lado, también cabe destacar que el presente artículo es el único de la literatura revisada que implementa en el mundo real la propuesta planteada concretando los componentes *hardware* y los servicios de la nube utilizados.

4.2.1.2. Implementación de un BMS en la nube

Los BMS monitorizan la salud de la batería y actúan para protegerla de determinados usos u otras condiciones que podrían dañar o acortar la vida útil de las celdas de batería, garantizando la seguridad y eficiencia de las baterías. En su origen, la función del BMS era únicamente realizar mediciones de la corriente, del voltaje y de la temperatura de la batería para asegurar que estos valores no estuvieran por encima de umbrales que pudieran poner en peligro la salud de la batería. En los últimos años, el BMS se ha ido modernizando, siendo ahora un sistema relativamente más complejo que incluye otras funcionalidades como la estimación del estado de la carga, la estimación del estado de la salud, el equilibrado de celdas o la gestión térmica.

La infraestructura del BMS tradicional solo permite utilizar modelos de batería sencillos, como circuitos equivalentes o modelos electroquímicos simplificados, puesto que su capacidad de cálculo y de almacenamiento de datos son limitadas. En la actualidad, existen otros algoritmos más complejos que utilizan técnicas de aprendizaje autónomo e inteligencia artificial, los cuales no pueden ser implementados en este tipo de BMS debido a los limitados recursos. Con la llegada de la computación en la nube, el acceso a *software* de cálculo más potente puede lograrse en cualquier lugar con conexión a Internet, permitiendo a cualquier dispositivo ofrecer funcionalidades que normalmente solo serían posibles con *hardware* de gama alta. Por tanto, tal y como se plantea en (Tran et al., 2022) y en (Li et al., 2020), un BMS basado en la nube podría ser la solución a las carencias existentes en los BMS tradicionales.

En primer lugar, se va a detallar la idea propuesta en (Tran et al., 2022). La Figura 4.6 muestra cómo sería el esquema de funcionamiento de un BMS tradicional, mientras que la Figura 4.7 presenta cómo evolucionaría este esquema en un BMS basado en nube. Generalmente, en un BMS típico se pueden diferenciar dos unidades. Por un lado, existe una unidad llamada maestra, que es la encargada de las tareas de control y cálculo. Por otro lado, se tienen las unidades esclavas, que son utilizadas para controlar diferentes parámetros como la tensión, la corriente o la temperatura de la batería. La información recabada por las unidades esclavas es enviada a la maestra para su procesamiento y almacenamiento.

La computación en la nube, con su potencia de cálculo y capacidad de computación, da pie al desarrollo de complejos algoritmos que puedan mejorar la eficiencia de las baterías de los vehículos eléctricos, pero también supone unos requisitos de *hardware* y *software* más exigentes, derivado de la necesidad de contar con una serie de componentes adicionales. Por este motivo, dentro de la Figura 4.7 se pueden diferenciar dos bloques. El nombrado como BMS local, que es similar al BMS presentado en la Figura 4.6, está compuesto por un conjunto de unidades esclavas encargadas de la adquisición de datos a nivel local. Este BMS se comunica con el llamado BMS de la nube a través de un dispositivo IoT, el cual actúa como puerta de enlace. Dicho componente recibe los datos procedentes de las unidades esclavas del BMS local y los reenvía a la nube.

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

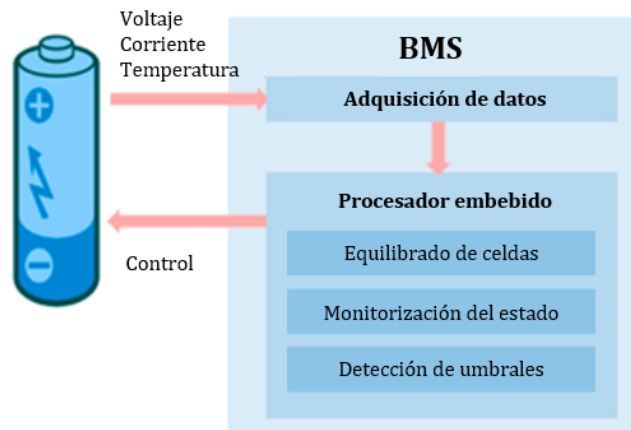


Figura 4.6: Funcionamiento de un BMS tradicional (Tran et al., 2022).

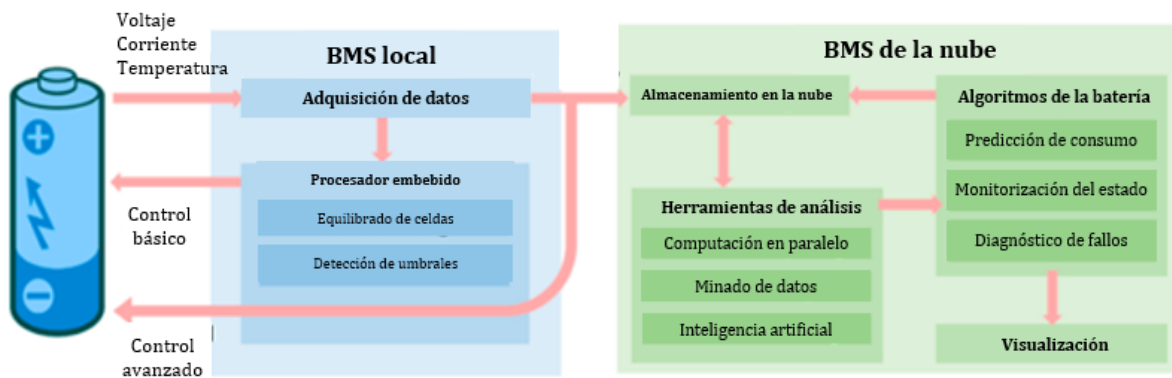


Figura 4.7: Funcionamiento de un BMS basado en nube (Tran et al., 2022).

En la Figura 4.7, dentro del BMS de la nube se pueden distinguir diferentes partes. La infraestructura de almacenamiento en la nube suele consistir en un registrador de datos y en una base de datos. El registrador es el encargado de capturar los datos, mientras que la base de datos sirve para almacenar todos los datos, que serán utilizados por algoritmos y herramientas de análisis para mejorar la eficiencia de la batería. La información más relevante será mostrada al usuario a través de una interfaz para que pueda conocer, en tiempo real, el estado de la batería, así como otro tipo de datos históricos que puedan resultar de interés para programar mantenimientos o reparaciones.

En comparación con el BMS de a bordo, el BMS en la nube tiene ventajas tanto en *hardware* como en *software*. En términos de *hardware*, el BMS en la nube tiene una gran capacidad de cálculo, una alta capacidad de almacenamiento de datos y una alta fiabilidad del sistema. Estas características favorecen la aplicación de algoritmos avanzados en el *software*. Por un lado, el rendimiento de las funciones, que ya existen en los BMS a bordo, puede mejorarse aún más con algoritmos más avanzados. Por otro lado, nuevas funciones, como la predicción del tiempo de vida útil basado en datos y la optimización del sistema, que son difíciles de implementar en los BMS a bordo, pueden implementarse en la nube.

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

Por lo tanto, la solución de BMS en la nube planteada resulta muy interesante, puesto que introduce claras mejoras de manera directa, pero también de manera indirecta. La flexibilidad de un sistema de nube también permitirá que sea utilizado sin requerir de grandes modificaciones por futuras baterías que no sean de ion-litio. Además, mejorar la fiabilidad y el rendimiento de las baterías supone un aumento de la autonomía de los vehículos eléctricos y una reducción de los costes de mantenimiento, promoviendo la adopción de vehículos eléctricos. Sin embargo, no deja de ser más que una visión general teórica, por lo que se necesitarían pruebas de concepto y desarrollos adicionales que garantizaran la viabilidad de la idea.

En (Li et al., 2020), se propone un BMS en la nube para construir un gemelo digital de los sistemas de batería. Básicamente, un gemelo digital es una réplica virtual en tiempo real de un objeto físico que incorpora información y datos recopilados de su homólogo físico. Algunas de las ventajas que ofrecen los gemelos digitales son:

- Ahorro de tiempo y de recursos: poder realizar simulaciones y pruebas en un entorno digital en vez de en el propio objeto físico supone un ahorro de tiempo y de recursos.
- Predicción y detección de fallos: la monitorización continua y precisa del estado de la batería ayuda a identificar en una etapa temprana problemas o anomalías antes de que se conviertan en fallas graves, incrementando la seguridad y la fiabilidad del sistema.
- Anticipación: gracias al análisis histórico de datos, es posible predecir el mantenimiento necesario para prolongar al máximo la vida útil del sistema.
- Avance científico: poder evaluar de manera virtual el posible comportamiento de un sistema de batería en diferentes escenarios o poder realizar diseños y prototipos digitales reduce los costes y acelera el desarrollo de nuevos productos o mejoras.

La Figura 4.8 muestra el esquema presentado en (Li et al., 2020), en el cual se pueden diferenciar seis subsistemas. A continuación, se detallan sus funcionalidades:

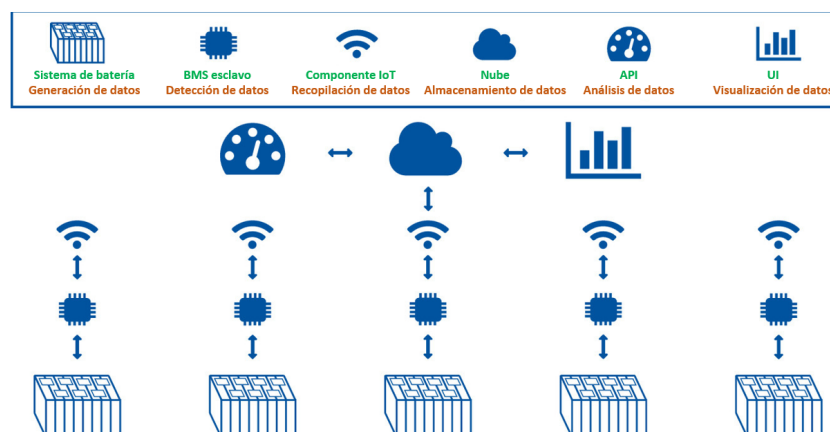


Figura 4.8: Esquema del BMS en la nube (Li et al., 2020).

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

- **Sistema de batería:** con la electrificación de los vehículos, los sistemas de batería están jugando un rol esencial en el almacenamiento de energía en los vehículos eléctricos. Comparado con los sistemas de batería fijos, las baterías en aplicaciones móviles trabajan generalmente con una mayor profundidad de descarga y bajo condiciones más dinámicas, lo cual requiere de algoritmos más avanzados para los diagnósticos, pronósticos y optimización de la batería. Con nuevas tecnologías de comunicación emergentes, como el 5G, los sistemas de batería móviles pueden conectarse a la nube, reduciendo la degradación de su batería e incrementando la seguridad, fiabilidad y rendimiento de estos. Los datos generados por los sistemas de batería contienen una gran riqueza de información sobre el historial de funcionamiento, el cual puede ser analizado con un gemelo digital para adaptar la estrategia de operación para extender la vida de servicio.
- **BMS esclavo:** se encarga de la adquisición de datos a través de la medición del voltaje, la corriente y la temperatura de las células de la batería mediante sensores con diferentes tasas de muestreo.
- **Componente IoT:** la idea básica detrás del IoT es hacer que los dispositivos se comuniquen e interactúen con otros para ser monitorizados y controlados remotamente. Para ello, una conexión a Internet estable es vital para una transferencia de datos en tiempo real consistente entre el sistema de batería y el gemelo digital. Con el objetivo de incrementar la fiabilidad del sistema completo, las operaciones que son requeridas constantemente durante el funcionamiento se ejecutan también localmente, garantizando la seguridad del sistema. Una versión avanzada de estas operaciones es ejecutada en la nube con algoritmos avanzados, proporcionando una mayor precisión, aunque se requiera una mayor potencia de cálculo. Las operaciones que requieren de datos históricos solo pueden ejecutarse en la nube. El gemelo digital se comunica con el sistema de batería para ir actualizando los parámetros de su modelo con el objetivo de mejorar el funcionamiento del sistema y frenar la degradación de la batería
- **Nube:** como los dispositivos IoT suelen tener capacidades limitadas de almacenamiento y computación y no permiten el procesamiento de datos complejos, la computación en la nube con capacidades de procesamiento y almacenamiento virtualmente ilimitadas permite el análisis escalable y en tiempo real de los datos de los dispositivos IoT. En la plataforma de la nube propuesta se sitúan un registrador de datos y una base de datos. El registrador captura la ingente cantidad de datos no estructurados producidos por los sistemas de batería y permite una pasarela segura para la transferencia de datos a la base de datos de la nube, la cual está ampliamente certificada y cuenta con protección ante ataques de denegación de servicios y conexiones multiredundantes. Solo los propietarios y explotadores de los sistemas de batería tienen acceso a los datos para garantizar la seguridad y la privacidad de los datos.
- **API:** la interfaz de programación de aplicaciones es el puente entre la base de datos en la nube y los algoritmos de análisis de datos. Con la API propuesta, el estado de las células en cada batería puede ser monitorizado utilizando algoritmos de diagnóstico. El gemelo digital puede mostrar el estado exacto de cada célula de la batería en tiempo real. Además, los datos de campo recogidos de diferentes sistemas de baterías pueden ser utilizados para

realizar predicciones precisas y optimizar el sistema, reduciendo el desgaste de las baterías mediante la adaptación de la gestión de las baterías.

- Interfaz de usuario o UI (*User Interface*): es el nexo entre la plataforma de la nube y los operadores de los sistemas de baterías y actúa como responsable de la inspección y visualización del gemelo digital. En comparación con el BMS a bordo, que tiene pocas oportunidades de visualización de datos, esta interfaz de usuario basada en nube puede proporcionar no solo la visualización en tiempo real de los datos de medición y los estados internos de las células de la batería, sino también un histórico de datos con numerosos tipos y opciones de visualización. Además, con diferentes tipos de funciones de alarma, que pueden configurarse para los datos originales y virtuales, los operadores pueden ser informados a través de la interfaz de usuario tan pronto como un fallo en los sistemas sea identificado, incrementando las oportunidades de prevención de efectos dañinos, que a su vez aumentan la fiabilidad del sistema y reducen el coste de mantenimiento. Con el objetivo de proteger los datos, la interfaz es accesible únicamente a través del protocolo HTTPS y requiere autenticación de usuario.

La Figura 4.9 muestra la implementación real que se llevó a cabo del esquema anterior. En este experimento se utilizó como componente IoT una Raspberry Pi, la cual recolectaba la información procedente del sistema de batería para compartirla con la plataforma de la nube y el resto de sistemas de batería. Las mediciones obtenidas de las células de la batería se enviaron a la Raspberry desde el BMS esclavo a través del protocolo CAN. Con el *software* desarrollado dentro de la Raspberry las señales CAN se convertían en valores físicos. La compartición de la información con la nube se hizo a través del protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), un protocolo de comunicación ligero y simple muy utilizado en el mundo del IoT.

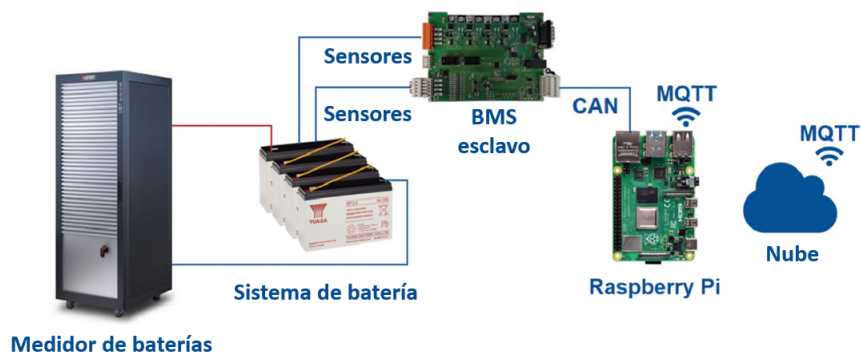


Figura 4.9: Esquema del BMS en la nube implementado (Li et al., 2020).

Aunque no se va a entrar en detalle, en (Li et al., 2020) se presentan las expresiones matemáticas para el modelado de la batería, la estimación del estado de la carga o SoC (*State of Charge*) y la estimación del estado de la salud o SoH (*State of Health*), así como su validación experimental a través de la implementación real de la arquitectura desarrollada en la Figura 4.9, demostrando una alta fiabilidad entre los valores reales y los predichos. Por tanto, en este trabajo

no se habla sólo de cómo implementar un BMS en la nube, sino también de la implementación llevada a cabo, sentando las bases de futuros estudios en los que se desarrollen algoritmos de aprendizaje automático potentes que pueden explotar los datos recolectados y expriman al máximo las posibilidades de un gemelo digital de un sistema de batería.

4.2.1.3. Estimación de la autonomía restante

La predicción precisa de la autonomía restante es un enfoque prometedor para aliviar la ansiedad por la autonomía. El cálculo de la autonomía restante es un concepto complejo debido a que está influenciado por factores muy variados, como pueden ser:

- Factores de conducción: cada conductor tiene un estilo de conducción diferente. Los estilos habituales pueden dividirse en agresivo, intermedio y conservador. Los primeros son los que pisan el acelerador más a menudo, por lo que consumen mayor energía que los conductores conservadores.
- Factores de tráfico: engloba aspectos como la congestión del tráfico o las condiciones de la carretera, por ejemplo, su curvatura, pendiente o adherencia.
- Factores ambientales: la temperatura, el clima y la luz solar son aspectos que afectan a la conducción. La temperatura juega un papel crucial en el rendimiento y la vida útil de las baterías de los vehículos eléctricos. Por ejemplo, a temperaturas extremadamente frías la resistencia interna de las baterías puede aumentar, lo que puede llevar a una disipación inadecuada durante los procesos de carga y descarga. A altas temperaturas, las reacciones químicas dentro de la batería ocurren con mayor rapidez, pudiendo ocasionar una pérdida permanente de capacidad.

Debido a la disparidad de los escenarios de aplicación y las severas condiciones de trabajo, la estimación precisa del ciclo de vida de una batería es realmente compleja. Por este motivo, al igual que en el artículo previamente comentado, el establecimiento de un modelo de gemelo digital de la batería y la realización de la gestión y el control desde la nube resulta una solución prometedora.

En (Peng Mei, 2023), se propone un método de predicción de la autonomía restante basado en la colaboración entre vehículos y nube que combina las ventajas de la computación en la nube con las del aprendizaje automático. Para la estimación de la autonomía restante es tan importante conocer la energía disponible en la batería como predecir el ritmo al que va a ser consumida esa energía. Mediante la colaboración vehículo-nube se pretende recolectar los máximos datos posibles de los vehículos para, en la nube, alimentar algoritmos de aprendizaje. A continuación, se mencionan los cuatro principales apartados de interés a predecir para lograr la mejor estimación posible de la autonomía restante:

- Energía restante en la batería: SoE (*State of Energy*) y SoH son los dos índices de información de estado más críticos para la gestión de una batería eléctrica. El estado de salud o

SoH es utilizado frecuentemente como índice para cuantificar el grado de envejecimiento de una batería. Una estimación precisa del SoH es beneficiosa para garantizar el funcionamiento seguro del sistema eléctrico y conduce a un mejor conocimiento de las reglas de degradación. Por su parte, el estado de la energía o SoE se define como la relación entre la energía restante y la energía total y refleja la energía residual de una batería.

- **Comportamiento del conductor:** en base a su personalidad y experiencia, cada conductor tiene un estilo de conducción diferente, de forma que diferentes conductores llevando exactamente el mismo vehículo en una situación de tráfico idéntica tendrán diferencias en el consumo de energía del vehículo. Además, cada conductor puede ir cambiando su estilo de conducción en función de aspectos como la edad, el tipo de carretera, las condiciones meteorológicas o de tráfico o el estado de ánimo.
- **Información de tráfico:** la duración del recorrido y la densidad del tráfico han sido siempre los dos datos de mayor interés para los conductores a la hora de afrontar un viaje. El modelo teórico estadístico tradicional se basa puramente en los datos históricos. La ventaja de un modelo de aprendizaje automático es que se entrena directamente de los propios datos, extrayendo las características del flujo de tráfico de los propios datos, sin necesidad de establecer una estructura del modelo de antemano. Por tanto, disponer en la nube de una enorme cantidad de datos generados en tiempo real por diversos vehículos facilita que la predicción de la velocidad y la duración de los recorridos sea altamente precisa.
- **Temperatura:** la predicción precisa de la temperatura de la batería es crucial para la estimación de su estado, lo cual está estrechamente relacionado con su seguridad. Un BMS no puede almacenar todos los datos que se generan durante el ciclo de vida de una batería. El gemelo digital de la batería tiene como objetivo replicar a la entidad física a lo largo de todo su ciclo de vida. En la plataforma de computación en la nube se reciben constantemente datos del funcionamiento de la batería física. Estos datos son integrados y clasificados para la extracción e identificación de la información necesaria para actualizar el gemelo digital de la batería. De esta forma se puede predecir desde un entorno virtual si, por ejemplo, hay peligro de que la batería física sufra una sobrecarga si se realiza un viaje de X horas a Y temperatura.

Gracias a la compartición de datos de los vehículos con la nube, se puede desarrollar un gemelo digital de la batería con la capacidad de reajustarse dinámicamente en función de la retroalimentación de los datos de los vehículos con el que obtener predicciones precisas en tiempo real que faciliten la estimación de la autonomía restante.

4.2.1.4. Compartición inalámbrica de energía entre vehículos

En (Chakraborty et al., 2022) se propone un modelo de carga inalámbrica de coches entre pares o P2C2 (*Peer to Peer Car Charging*). Se presenta como una solución escalable, de bajo coste y fácil de implementar, que alivia la necesidad de una elaborada infraestructura de carga. Básicamente, la idea consiste en formar una flota de vehículos en la que los vehículos compartan la carga entre ellos. La coordinación de dicha flota es llevada a cabo por parte de un sistema de

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

control basado en nube, el cual se encarga de asignar a los vehículos los roles de proveedor o receptor de carga. De esta forma, se trata de conseguir que la carga total de la flota de vehículos se reparta entre todos los miembros que la forman. A diferencia de las soluciones V2V, la compartición de carga en P2C2 tiene lugar mientras los vehículos están en movimiento, con el objetivo de minimizar el tiempo invertido al realizar un repostaje.

Sin embargo, por muy dinámica que sea la entrada y salida de vehículos en la flota, es probable que llegue un punto en el que la carga total de flota se acabe agotando. Para evitar que esto ocurra, se propone introducir vehículos auxiliares con baterías de enorme capacidad encargados de reponer la carga general de la flota y revitalizar a los vehículos eléctricos. Estos vehículos reciben el nombre de estaciones de carga móviles o MoCSs (*Mobile Charge Station*). En la 4.10 puede apreciarse cómo los coches colaboran para que la carga de un camión que actúa como MoCS llegue a todos los coches que lo necesitan.

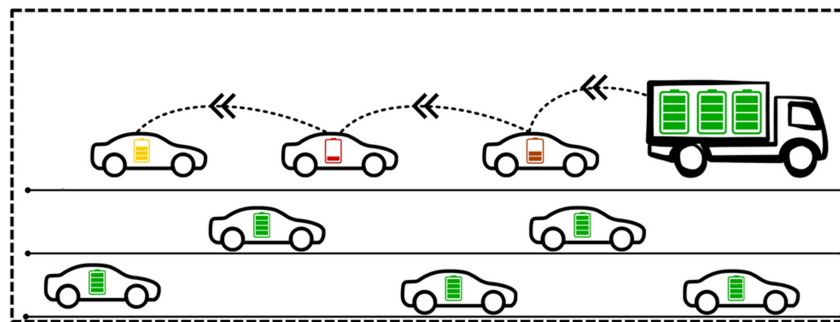


Figura 4.10: Funcionamiento en una estrategia P2C2 (Chakraborty et al., 2022).

Otro aspecto a tener en cuenta es la velocidad de las tasas de transferencia. En circulación, la movilidad de los vehículos es muy alta, por lo que las tasas de transferencia deben ser rápidas. Para reducir el tiempo de contacto entre los vehículos, se propone utilizar una arquitectura de baterías multinivel, como el de la Figura 4.11, de manera que los vehículos cuenten con baterías de diferentes tamaños. Las baterías más grandes y, por ende, con tasas de transferencia de carga más lentas, serán utilizadas para la alimentación propia de los vehículos, mientras que las baterías más pequeñas, con tasas de transferencia de carga más rápidas, actuarán como baterías auxiliares, bien para proporcionar carga a la batería principal del mismo vehículo o bien para compartir su carga con otros vehículos de la flota.

Por lo tanto, el marco P2C2 se compone de una flota de vehículos eléctricos, de un conjunto de MoCSs, de los depósitos de los MoCSs y de un sistema de control. Los vehículos y los MoCSs, además de interactuar entre sí, se comunican con el sistema de control para compartir información sobre el tráfico y sobre el estado de las baterías. Dicha información es utilizada por el controlador para mantener y actualizar un mapa de cómo se encuentra la distribución de carga en la flota. Tener esto bajo control es de vital importancia para alargar la vida útil de las baterías, puesto que la vida de una batería de iones de litio, que es el tipo de batería más utilizada en los vehículos eléctricos, se degrada rápidamente si sufre una descarga completa o si se somete a ciclos de carga ineficientes.

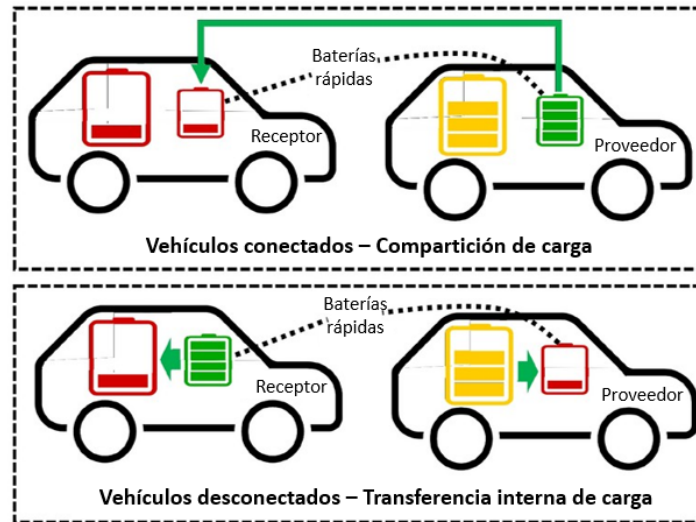


Figura 4.11: Arquitectura de baterías multinivel (Chakraborty et al., 2022).

Para evaluar la efectividad de P2C2, los autores utilizaron el simulador de tráfico SUMO (*Simulation of Urban Mobility*) para realizar pruebas con diferentes parámetros de tráfico, demostrando una reducción en el número de paradas y en los requisitos de capacidad de la batería. La Figura 4.12 presenta algunos de los aspectos analizados.

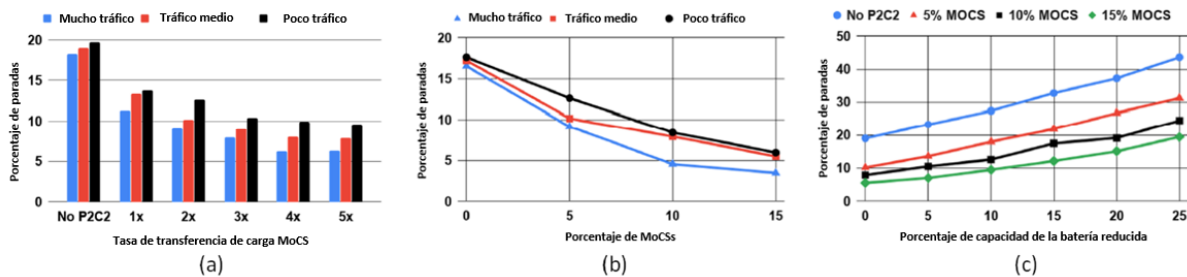


Figura 4.12: Análisis de la efectividad de una estrategia P2C2. (a) Porcentaje de paradas a realizar en función de la tasa de transferencia de carga de un MoCS. (b) Porcentaje de paradas a realizar en función del porcentaje de MoCS en la flota. (c) Porcentaje de paradas a realizar en función del porcentaje de capacidad de la batería reducido. (Chakraborty et al., 2022).

En la Figura 4.12a se observa que el porcentaje de paradas en los tres escenarios de tráfico analizados se reduce cuanto mayor es la tasa de transferencia de carga de los MoCSs. 1x significa que la tasa de transferencia de carga de un MoCS es de 1kWh. También se puede apreciar que el esquema P2C2 resuelta más efectivo cuanto más denso es el tráfico, puesto que siempre la barra azul es la más pequeña de las tres. Esto se debe a que cuantos más vehículos componen la flota, menos número de reenrutamientos son necesarios, por lo que un vehículo con una batería en estado crítico puede ser rápidamente asignado a un vehículo proveedor que esté cerca.

El ejemplo anterior se hizo considerando que los MoCSs suponían el 5 % del total de la flota

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

de vehículos analizados. Este parámetro es el que se evalúa en la Figura 4.12b. En ella se puede apreciar la relación directa entre aumentar el número de MoCS y reducir el número de paradas a realizar.

Utilizar baterías de gran capacidad supone un incremento del peso y del coste del vehículo eléctrico. En la Figura 4.12c se muestra cuánto se incrementaría el porcentaje de paradas en relación al porcentaje de capacidad de la batería reducido. Existe una posibilidad de compromiso entre el número de MoCSs y la capacidad de las baterías de los vehículos de los usuarios. Si de cada 100 vehículos que circulan 15 fueran MoCSs, la batería de los vehículos se podría reducir en un 24.4 % y se seguiría manteniendo el mismo porcentaje de paradas que si no se utilizara P2C2.

A modo de resumen, se ha presentado un marco para la recarga de vehículos eléctricos en movimiento con el objetivo de hacer frente a problemas como la falta de infraestructura de recarga de vehículos eléctricos y el elevado coste de las baterías. Basándose en la coordinación de vehículos, así como en un sistema de orientación basado en la nube, se consigue crear un mapa de distribución de cargas en tiempo real de la red para tomar decisiones contrastadas sobre las transacciones de carga.

De la literatura analizada, este artículo se trata, indudablemente, de uno de los más disruptivos e innovadores, siendo P2C2 una solución rápida, escalable y eficiente para disminuir la desconfianza de los usuarios acerca de la escasez de puntos de recarga y del desperdicio de tiempo que supone tener que detenerse para poder cargar el coche. Sin lugar a duda, que un usuario pueda ver cómo la batería de su vehículo aumenta sin necesidad de estacionar resulta una solución prometedora para atraer a los consumidores más reticentes.

4.2.1.5. *Blockchain* como método de seguridad

(Liu et al., 2018) es el artículo más completo e interesante que se ha encontrado en cuanto a seguridad se refiere. Su objetivo principal es presentar soluciones para garantizar la seguridad de las interacciones entre vehículos eléctricos dentro de una arquitectura que combina los paradigmas de computación en la nube y computación en el borde.

En primer lugar, los autores presentan un paradigma denominado como computación en la nube y en el borde para vehículos eléctricos o computación EVCE (*Electric Vehicles Cloud and Edge*), cuya arquitectura de red se muestra en la Figura 4.13. En este paradigma de red existen dos flujos, uno de información y otro de energía, que son dinámicamente intercambiados durante las comunicaciones V2G, V2I, V2V, o cualquier otra, para conseguir una recolección de datos colaborativa y la compartición de energía.

Por un lado, la computación en la nube sirve para extender la tradicional infraestructura de nube hacia los vehículos eléctricos para establecer interacciones con las RSUs, los agregadores locales o LAGs (*Local Aggregator*) u otras entidades. La idea es que los recursos energéticos, informáticos y de comunicación que no estén siendo aprovechados en los vehículos pueden agregarse a una reserva común. De esta forma, los vehículos eléctricos pertenecientes a la red se

juntan para prestar servicios cooperativos, sin importar si están desplazándose o si permanecen aparcados durante horas. Por otro lado, desde el punto de vista de la computación en el borde para vehículos eléctricos, los vehículos actúan como dispositivos de borde y actúan como unidades distribuidas para la realización de tareas de procesamiento y análisis de los datos procedentes de los sensores, los cuales están dispersos geográficamente. De esta forma, se consigue una computación más flexible, sin la necesidad de tener que establecer comunicaciones directas con la nube remota. Los vehículos eléctricos en movimiento podrían mejorar la conectividad y la capacidad de la red con una transmisión de datos de alta velocidad y una baja latencia de comunicación.

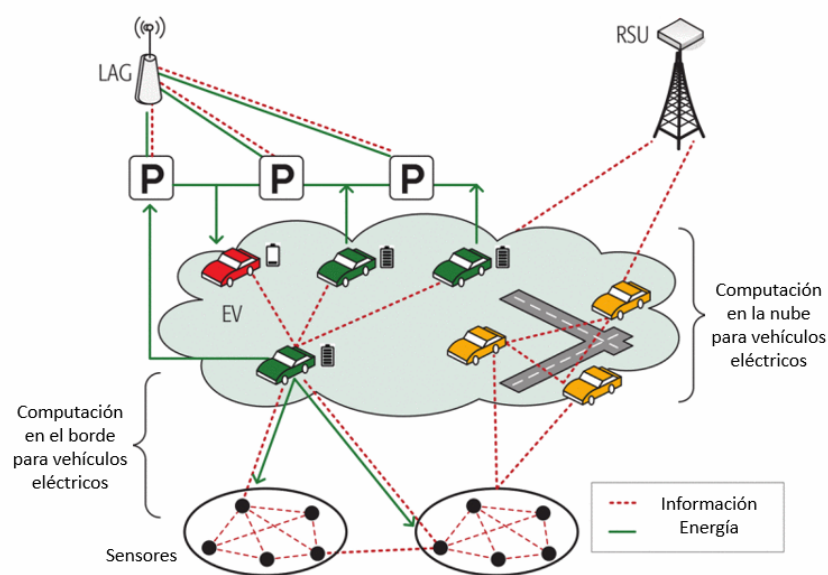


Figura 4.13: Arquitectura de red de la computación EVCE (Liu et al., 2018).

Las interacciones de información ocurren generalmente en comunicaciones V2I y V2V. Por ejemplo, los vehículos eléctricos establecen comunicaciones V2I con diversos sensores para lograr una percepción distribuida y un procesamiento cooperativo. Los datos que obtiene cada vehículo pueden ser compartidos con otros vehículos mediante comunicaciones V2V o bien ser enviados a la nube para agregar datos. La información resultante de esta agregación es utilizada para servicios cooperativos, como consulta de tráfico, asistencia a la conducción o compartición de entretenimiento.

En cuanto al flujo de energía, los vehículos ejecutan operaciones de carga y descarga mediante comunicaciones V2G en las que existen roles de demanda, de almacenamiento y de suministro. El LAG es quien actúa como agente entre la red eléctrica y los vehículos. Los vehículos agregados por el LAG suponen, en conjunto, una reserva de energía amplia y flexible, cuyo tamaño varía continuamente en función de las llegadas y salidas dentro del área. De esta forma, los vehículos eléctricos pueden actuar como pequeñas centrales de energía móviles para compartir energía con la infraestructura fija situada a lo largo de la carretera, por ejemplo, sensores y RSUs, o con la propia red eléctrica.

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

La computación en la nube, así como el resto de las tecnologías derivadas, presentan una serie de problemas de seguridad asociados a la utilización de comunicaciones inalámbricas. Accesos no autorizados, interceptación de datos, ataques de denegación de servicio o puntos de acceso falso son algunas de las principales vulnerabilidades. Para abordar los problemas de seguridad en su arquitectura, los autores propusieron utilizar la tecnología de *blockchain*, o cadena de bloques en español, para aprovechar sus características de descentralización y coparticipación. La primera de ellas hace referencia a que no existe un nodo o autoridad central que controle o administre la red, mientras que la coparticipación significa que todos los participantes intervienen en las transacciones en bloque.

Una cadena de bloques puede verse como una base de datos en la que se registran las transacciones que se van realizando en la red. Dicha información se almacena en bloques, que se enlazan siguiendo un orden temporal. Cada bloque de la cadena cuenta con un *hash* propio y con el *hash* del bloque anterior. Un *hash* es un valor único y fijo que se calcula a partir una cantidad arbitraria de datos del bloque. Si se altera cualquier dato en el bloque, el *hash* cambiará completamente. La cadena de bloques solo permite la escritura, de manera que lo que se plasma en ella no puede desaparecer jamás.

La cadena de bloque está replicada en muchos nodos diferentes. Cuando en un bloque no caben ya más transacciones, se lleva a cabo una validación. Los nodos que cuentan con la cadena verifican la legitimidad de los nuevos datos y, en caso de que existas consenso entre la mayoría de los participantes, el bloque es añadido a la cadena.

Para alcanzar el mencionado consenso se utilizan diferentes tipos de algoritmos criptográficos. El más conocido es el algoritmo de prueba de trabajo o PoW (*Proof of Work*), debido a que fue introducido por primera vez con la creación de Bitcoin. Su objetivo principal es asegurar la red y validar las transacciones en bloque mediante la resolución de problemas criptográficos complejos. Para validar que un bloque es correcto, se debe encontrar el *hash* del bloque. Una vez que un nodo lo resuelve, informa al resto de nodos de la red para que comprueben que efectivamente es correcto y añadan un nuevo bloque en sus cadenas. El descubrimiento del *hash* no depende de ningún patrón, sino que se trata meramente de un trabajo de prueba y error. Por tanto, este algoritmo es absolutamente dependiente de la potencia de computación, puesto que la probabilidad de que un nodo resuelva antes un problema criptográfico depende de ello. El primero en encontrarlo es recompensado con criptomonedas.

En el artículo, los autores definen dos criptomonedas para aplicaciones vehiculares, monedas de datos y monedas de energía. Estas monedas solo son intercambiadas entre vehículos y se permite su circulación y comercialización. Cuantas más monedas de datos tenga un vehículo, mayor prioridad se le dará para acceder a recursos de la reserva y mayor credibilidad tendrán sus datos a la hora de tomar decisiones. En cuanto a las monedas de energía, tener más supone disfrutar de un menor precio por el uso de la energía y también ventaja a la hora de acceder a los recursos compartidos.

Durante las interacciones de información, las monedas de datos son la prueba de trabajo de la frecuencia de contribución de datos de los vehículos. El vehículo que haya contribuido con más

datos durante un determinado período de tiempo será recompensado con estas monedas. Todas las interacciones de información quedan registradas en bloques, los cuales, antes de ser añadidos a la cadena, son validados por las RSUs y los LAGs. Las interacciones de energía también se registran en bloques, pero en este caso el único elemento autorizador es el LAG. Las monedas de energía se asignan como prueba de trabajo al vehículo que más energía haya compartido al resto durante un período de tiempo establecido. Gracias a las criptomonedas propuestas se consigue crear un ecosistema más justo en el que se recompensa a los usuarios más colaboradores y se incentiva al resto a participar.

A modo de conclusión, *blockchain* es una solución prometedora que proporciona ciertas características y beneficios que pueden mejorar la seguridad en la computación en la nube. En primer lugar, es una barrera de defensa frente a los ciberataques, puesto que trata de un modelo distribuido y descentralizado. En segundo lugar, la naturaleza inmutable de esta tecnología asegura la integridad de los datos almacenados en la nube, evitando modificaciones no autorizadas o eliminaciones accidentales. En último lugar, facilita la identificación de posibles violaciones de seguridad, gracias a que todas las transacciones y eventos quedan registrados en la cadena de bloques.

4.2.1.6. Análisis de la viabilidad de las soluciones planteadas

Los estudios presentados en el apartado 4.2.1 tienen como objetivo reducir la ansiedad de la autonomía. La mayoría de las propuestas se centran en mejorar la eficiencia energética de las baterías a través del uso de la tecnología, aunque existen otros muchos aspectos que también influyen de manera directa en la autonomía y que presentan un gran margen de mejora como, por ejemplo, reducir el peso de los vehículos y con ello el consumo de energía, o aumentar la rapidez de la infraestructura de carga para que los tiempos de recarga sean más breves.

Para mejorar la eficiencia de un sistema, el primer paso es conocer a la perfección su funcionamiento. Esta línea de investigación es la que se sigue en (Karnehm et al., 2023), (Tran et al., 2022) y (Li et al., 2020), donde se propone monitorizar de manera exhaustiva y en tiempo real los sistemas de batería. De cara al presente trabajo es de gran relevancia el nivel de detalle que se da en (Karnehm et al., 2023) a la parte de la nube, donde se describe uno por uno los servicios utilizados, aportando un gran ejemplo de la utilidad de un proveedor de nube como puede ser AWS. Por su parte, (Tran et al., 2022) y (Li et al., 2020) se enfocan más en la parte de la arquitectura del BMS, con el objetivo de emplear la nube para expandir sus funcionalidades, recolectar todo tipo de parámetros y gestionar esa gran cantidad de datos. Además, introducen un concepto novedoso con un gran potencial como es el gemelo digital.

Los mencionados artículos resultan de interés a la hora de conocer, desde el punto de vista de la arquitectura, distintas formas de recopilar datos sobre los diversos aspectos parametrizables de una batería. Sin embargo, no abordan la cuestión de cómo aprovechar esa información para mejorar la eficiencia de los sistemas de batería actuales, dejando la puerta abierta a líneas futuras en las que se hable sobre modelos o patrones de aprendizaje automático que expriman al máximo los datos de la información recabada.

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

En (Peng Mei, 2023) se enfatiza sobre el valor de los datos y la complejidad y la importancia de realizar estimaciones óptimas, no solo con el objetivo de prolongar la duración de las baterías, sino también para poder predecir con exactitud la propia duración de estas.

En base a todas estas ideas, la empresa alemana Bosch ha desarrollado un *software* inteligente en la nube capaz de analizar continuamente el estado de la batería y tomar las medidas adecuadas para prevenir o ralentizar su envejecimiento. A través de un servicio llamado “Batería en la Nube”, las baterías de los vehículos se conectan a la nube, en donde una serie de algoritmos de análisis evalúan los datos recopilados, con el objetivo de mejorar los procesos de recarga y proporcionar a los conductores, a través del cuadro en el salpicadero, consejos personalizados de conducción para conservar la energía de la batería (Bosch, 11 de julio de 2019). Desde la multinacional tecnológica aseguran que su servicio permite realizar, por primera vez, un pronóstico fiable de la vida útil y rendimiento de la batería, consiguiendo reducir el desgaste de esta hasta en un 20 por ciento, aunque a día de hoy no existe ningún proyecto piloto que lo corrobore.

En (Chakraborty et al., 2022) se presenta la que es, sin duda, la solución más disruptiva de las vistas, puesto que no trata de mejorar lo existente, sino que propone un método alternativo a la hora de cargar los vehículos, en el cual ni siquiera hacer falta estacionar. Ante el potencial de esta idea, la empresa china de desarrollo de equipos electrónicos Xiaomi se encargó de registrar, en 2022, la patente de un sistema que propone utilizar un pequeño vehículo autónomo de carga equipado con una batería para la recarga inalámbrica de vehículos en movimiento. Gracias a su tecnología autónoma, este vehículo es capaz de posicionarse correctamente, conectarse al vehículo objetivo e iniciar el proceso de carga. La propia patente plantea también una alternativa en el que la transferencia de energía no dependa del desarrollo de una nueva tecnología inalámbrica, sino que el vehículo auxiliar entregue la energía al principal conectándose a él físicamente como si de un remolque se tratara (Cobucci, 12 de octubre de 2023). A día de hoy queda por ver si la patente llega a ser aplicada y, en ese caso, si se consigue evolucionar la idea hasta un sistema eficaz y eficiente.

La autonomía restringe en gran medida la utilidad y versatilidad de los vehículos eléctricos, aunque no es el único factor que estresa a los usuarios y alimenta esa mencionada ansiedad de la autonomía o rechazo a este nuevo tipo de vehículo. La seguridad de los datos que estos vehículos comparten constantemente también genera preocupación, especialmente entre las personas de cierta edad que no son consideradas como nativos digitales. Por ello, se ha dado importancia también a este aspecto presentando en (Liu et al., 2018) una solución de seguridad basada en tecnología *blockchain*.

4.2.2. Soluciones para la integración de los vehículos eléctricos en la red eléctrica

La red eléctrica es un sistema interconectado de infraestructuras, dispositivos y equipos que se encarga de suministrar la energía eléctrica procedente de las centrales generadoras a los consumidores finales. Estos sistemas comenzaron siendo pequeños diseños locales y

han ido creciendo hasta extenderse por miles de kilómetros y conectar millones de hogares y negocios. Independientemente del proceso empleado para producirla, la energía eléctrica generada es transportada por medio de líneas eléctricas de transmisión hasta diferentes estaciones de distribución, las cuales se encargan de hacer llegar la electricidad a los consumidores finales. Esto es lo que trata de representarse en la Figura 4.14. Por tanto, aunque la red eléctrica conste de innumerables interconexiones complejas, se pueden diferenciar, a grandes rasgos, tres secciones, las cuales se detallan a continuación (Junta de Castilla y León, s.f.) (Red Eléctrica de España, s.f.):

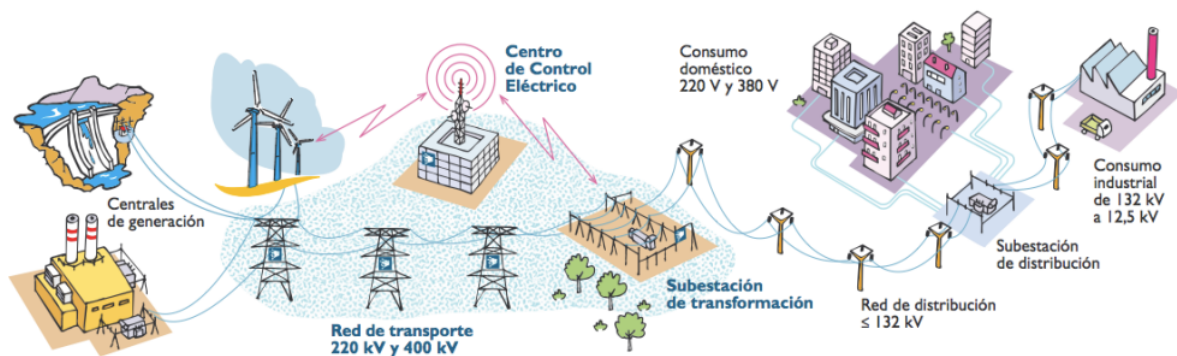


Figura 4.14: Esquema de la red eléctrica tradicional en España (Gisbert, 2015).

- **Generación:** la electricidad se produce en inmensas centrales eléctricas alejadas de zonas densamente pobladas. El proceso de generación consiste en transformar una fuente de energía primaria en energía eléctrica utilizable. Dichas fuentes de energía primaria suelen ser recursos energéticos de origen fósil, como el petróleo, el carbón o el gas natural, o renovables, como el sol, el viento o el agua, o bien combustibles nucleares, como el uranio. Existen prácticamente tantos tipos de central eléctrica como fuentes de energía, pero todas se basan en dos elementos clave: una turbina, que transforma en energía mecánica el calor o el movimiento producido por la fuente de energía primaria, y el generador, que convierte la energía mecánica en electricidad.
- **Transmisión:** a través de líneas de alta tensión, la energía eléctrica generada en las centrales eléctricas es transportada hasta la red de reparto. Las líneas de alta tensión son aquellas que transmiten electricidad entre 220000 voltios y 400000 voltios, recomendadas para transportar grandes cantidades de energía a largas distancias. El motivo de utilizar tensiones elevadas es reducir las pérdidas de energía en forma de calor que se producen en el transporte debido a la resistencia que ofrecen los conductores eléctricos. En subestaciones de transformación situadas cerca de las centrales de generación es donde el voltaje de la energía eléctrica generada es elevado a la tensión necesaria. Posteriormente, en otras subestaciones de transformación situadas entre la red de transporte y distribución, la tensión de la electricidad es reducida. Desde su fundación en 1985, Red Eléctrica de España es la compañía dedicada en exclusiva al transporte de energía eléctrica en alta tensión, teniendo la responsabilidad de desarrollar, ampliar y mantener la red de transporte. A través de su Centro de Control Eléctrico o Ceceol, realiza las actividades necesarias para

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

mantener el equilibrio entre producción y consumo, garantizar la continuidad y seguridad del suministro eléctrico y asegurar que la energía producida sea transportada hasta las redes de distribución con las máximas condiciones de energía exigibles. La clave para lograr un equilibrio adecuado entre generación y consumo es realizar una buena previsión de la demanda de electricidad. Dicha previsión se realiza en base a innumerables datos que tienen en cuenta desde las previsiones climatológicas hasta las fiestas patronales y demás acontecimientos de cada región. Con esta previsión, las centrales eléctricas preparan sus programas de producción para cada una de las horas del día y así disponer de la energía necesaria para cubrir esa demanda. En tiempo real, Cecoel se encarga de mantener el equilibrio entre la producción programada y el consumo demandado para que, según varíe la demanda predicha, enviar las órdenes oportunas a las centrales eléctricas para que ajusten sus producciones, aumentando o disminuyendo la generación de energía.

- **Distribución:** mediante líneas de media tensión, la electricidad es llevada hasta los centros de distribución. Estos se encargan de transformar la electricidad a otros valores de media tensión o a baja tensión, en función del consumidor. Las líneas de media tensión hace referencia a voltajes entre 132000 voltios y 1000 voltios, mientras que las líneas de baja tensión llevan la energía a una tensión inferior a 1000 voltios.

En la actualidad, la red eléctrica se encuentra operando cerca de sus límites de funcionamiento. La falta de fiabilidad de la comunicación y la monitorización, la ineficiencia del encaminamiento y distribución de la electricidad y la falta de inteligencia de los dispositivos son las principales fuentes de despilfarro de energía en la red eléctrica tradicional. En otras palabras, la ausencia de tecnología resulta en una red eléctrica ineficiente. Además, la creciente popularidad de los vehículos eléctricos supone una nueva fuente de demanda, altamente dinámica y cambiante, imposible de contemplar en el momento en el que la red eléctrica fue proyectada y construida. Con el objetivo de flexibilizar y optimizar el funcionamiento de la red eléctrica tradicional, ha surgido un nuevo concepto de sistema eléctrico de última generación apodado como red eléctrica inteligente o SG (*Smart Grid*).

Según la Red Eléctrica de España, la SG se define como una red eléctrica capaz de integrar de forma eficiente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella, de tal forma que se asegure un sistema energético sostenible y eficiente, con bajas pérdidas y altos niveles de calidad y seguridad de suministro (Red Eléctrica, s.f.). Por tanto, se trata de un sistema de red capaz de utilizar datos y análisis para optimizar la forma en la que se toman las decisiones a la hora de entregar electricidad. El objetivo es la creación de un sistema eléctrico limpio, seguro, fiable, eficiente y sostenible.

La SG se concibe como una combinación de red eléctrica e infraestructura de comunicaciones. Se compone de múltiples elementos, como sensores y dispositivos de medición, sistemas de comunicación, *software* de gestión de datos o sistemas de control y automatización, que trabajan juntos para recopilar y analizar información en tiempo real sobre la oferta y la demanda de energía, con el objetivo de optimizar el uso de los recursos y minimizar las interrupciones del suministro eléctrico. Los contadores inteligentes y las microrredes o *microgrids* son los componentes más destacados que incorpora la arquitectura de la SG. Un contador inteligente

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

es un tipo de contador que, además de medir el consumo de una forma más detallada, permite otras funcionalidades más complejas, como recoger información sobre la situación de la red eléctrica en tiempo real o enviar los datos recolectados. Por su parte, una microrred es una red de baja tensión compuesta por fuentes de generación y sistemas de almacenamiento de energía. Por tanto, las microrredes pueden funcionar de manera independiente y autónoma, lo cual resulta especialmente útil en situaciones en las que el suministro de la red eléctrica principal se ve interrumpido. Se caracterizan por situarse cerca del lugar de consumo. En el contexto de una SG, las microrredes pueden funcionar bien como unidades aisladas o bien interconectándose con la red eléctrica principal para intercambiar energía en ambas direcciones. En el segundo caso, la microrred puede considerarse una entidad de control (Yigit et al., 2014) (Bera et al., 2015).

La red de comunicaciones de la SG es un conjunto de varios segmentos de red que mantienen las comunicaciones entre enormes dispositivos no homogéneos distribuidos por amplias regiones geográficas y que requieren diversos servicios de calidad. Generalmente, se pueden diferenciar tres secciones de red, en correspondencia con las etapas de transmisión, distribución y consumo de la red eléctrica, tal y como se muestra en la Figura 4.15. A continuación, se detallan cada una de ellas (Xiaocheng Wang, 2023) (Saleem et al., 2019):

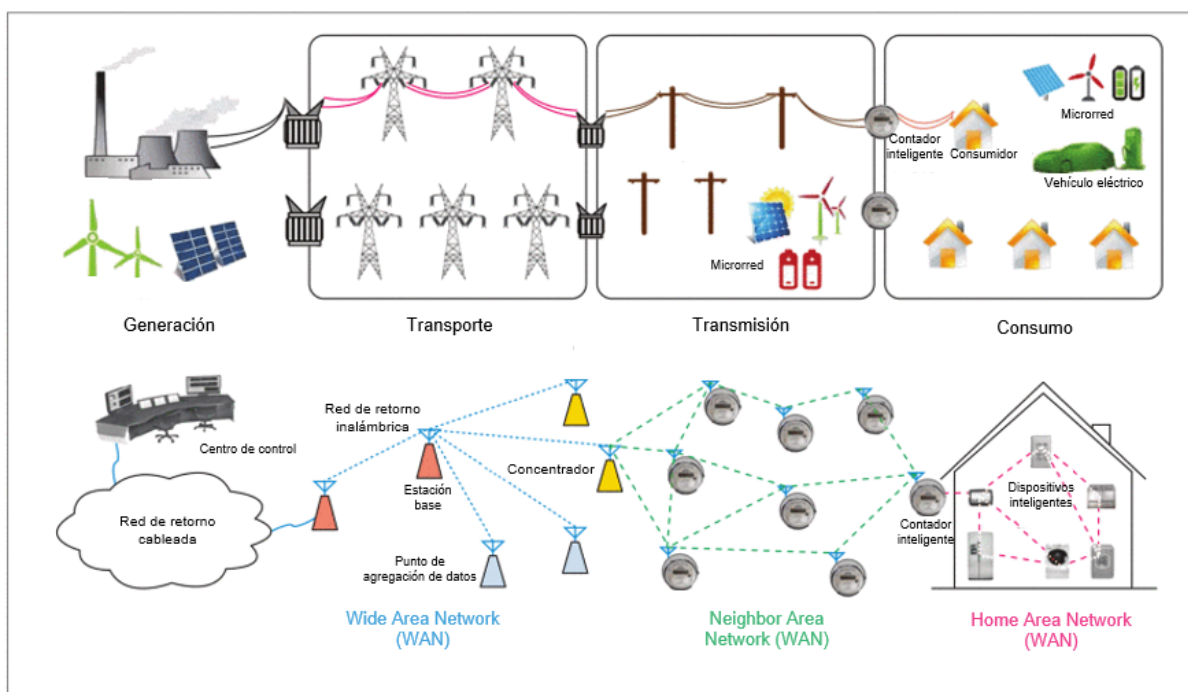


Figura 4.15: Arquitectura global de la *Smart Grid*: red eléctrica y red de comunicaciones (Ho et al., 2013).

- Red de área doméstica o HAN (*Home Area Network*): se trata de una red de corto alcance que conecta a los dispositivos inteligentes existentes, bien sean electrodomésticos, vehículos eléctricos o fuentes de generación de energías renovables, con los contadores inteligentes. Su función es recopilar información de dichos dispositivos para proporcionar a los usuarios información de control para una mejor gestión del consumo eléctrico.

Este tipo de red es desplegado en unidades residenciales, plantas industriales o edificios comerciales. En las HANs se utilizan tecnologías de comunicación inalámbricas de corto alcance, como ZigBee, Bluetooth y WiFi.

- Red de área vecinal o NAN (*Neighbor Area Network*): red de medio alcance que se establece en un área geográfica limitado. Incluye a contadores inteligentes de múltiples HANs y es responsable de que estos establezcan las comunicaciones necesarias para el intercambio de información con clientes y compañías eléctricas. En otras palabras, recoge la información de servicio y de medición de múltiples HANs y las transmite a los concentradores que conectan las NANs a una WAN. Un concentrador es una torre de transmisión de ondas de radio que combina varios canales de comunicación en uno solo. En las NANs se utilizan protocolos de comunicación capaces de cubrir radios de miles de kilómetros, como WiMAX o PLC.
- Red de área amplia o WAN *Wide Area Network*: se trata de una red troncal de comunicaciones de gran ancho de banda que cubre áreas de gran tamaño, gestionando transmisiones de datos a larga distancia con avanzadas aplicaciones de monitorización y detección. Supone una red comunicación bidireccional para la comunicación, automatización y monitorización de las aplicaciones de la SG. Interconecta las NANs con las redes privadas de las empresas que operan la red eléctrica. En las WANs se utilizan las redes celulares y la fibra óptica para establecer las comunicaciones.

4.2.2.1. Computación en la nube como tecnología de apoyo a la red eléctrica inteligente

Fruto de la monitorización y medición que realizan los múltiples dispositivos inteligentes mencionados previamente, en la SG se genera una cantidad ingente de datos, por lo que se requiere de un paradigma de gestión de la información fiable para su procesado, análisis y almacenamiento. Gracias a su capacidad de procesamiento y de almacenamiento, la computación en la nube resulta una solución ideal para ayudar a la SG a la hora de tomar decisiones y mejorar así la eficiencia, la fiabilidad y la gestión de la distribución de la energía eléctrica en un entorno en constante cambio. Además, la utilización de computación en la nube en la SG también puede ser útil en otros aspectos. A continuación, se enumeran algunos de estos:

- Gestión de la información: la computación en la nube permite la recopilación y el análisis en tiempo real de los datos procedentes de los sensores y los medidores inteligentes, lo que facilita la detección de eventos de interés.
- Gestión de la energía: los algoritmos de optimización alojados en la nube pueden ayudar a gestionar la generación y distribución de energía de manera más eficiente, lo cual incluye asignación de recursos y toma de decisiones en tiempo real para garantizar la estabilidad y la eficiencia de la red eléctrica. Además, los datos de generación en combinación con los pronósticos meteorológicos pueden
- Gestión de la carga: aplicaciones basadas en nube pueden coordinar la carga y descarga de vehículos eléctricos y otros aparatos electrónicos inteligentes, aprovechando los momentos de menor demanda y menor precio de la energía.

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

- **Mantenimiento predictivo:** las herramientas de análisis de datos pueden detectar problemas antes de que ocurran, reduciendo así los costos de reparación y el tiempo de inactividad, gracias a que la nube recopila y almacena todos los datos generados en la SG.
- **Fiabilidad de la red eléctrica:** la información de la red se almacena en la nube, por lo que en caso de una interrupción en el suministro de la red la información puede ser restaurada rápidamente, minimizando el impacto en los clientes.
- **Gestión de la demanda:** servicios en la nube pueden conseguir una gestión de la demanda más eficiente basada en la implementación de precios dinámicos que incentive a los consumidores a reducir su consumo en momentos de alta demanda.
- **Seguridad:** en la nube pueden ejecutarse sistemas de detección de amenazas y medidas de ciberseguridad para fortalecer la seguridad en la SG.

La tabla 4.2 recoge algunos ejemplos de propuestas teóricas en las que se integra la computación en la nube en la SG.

Referencia	Ámbito	Propuesta
(Fang et al., 2012)	Gestión de la información	Escenarios de aplicación de un paradigma de gestión de la información de la SG basado en computación en la nube: servicio de gestión de datos de usuario y aplicaciones, servicio de negociación comercial, servicio de análisis de la información acerca del funcionamiento de la red, servicio de recomendación, consultoría y publicidad
(Rusitschka et al., 2010)	Gestión de la información	Modelo de gestión de datos que aprovecha características de la computación en la nube como la gestión de datos distribuida para la recopilación de datos en tiempo real, el procesamiento de datos en paralelo para la recuperación de información en tiempo real, o el acceso ubicuo
(Nagothu et al., 2012)	Comunicaciones	Utilizar los centros de datos de la nube como infraestructura central de comunicación y optimización que de soporte a una red de radio cognitiva de contadores inteligentes
(Nikolopoulos et al., 2011)	Gestión de la energía	Un sistema de apoyo a la toma de decisiones que llevan a cabo los encargados de gestionar el consumo de energía a través de Internet. Dicho sistema utiliza una metodología de software basada en la nube que reúne a consultores energéticos, consumidores, procedimientos de servicios energéticos y modernas tecnologías interoperables en la web

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

Referencia	Ámbito	Propuesta
(Kim et al., 2011)	Infraestructura	Una arquitectura de respuesta a la demanda basada en nube para un tiempo de respuesta rápido en despliegues a gran escala
(Tang et al., 2012)	Gestión de la energía	Un agente móvil ayudado por aplicaciones de computación en la nube es utilizado para intercambiar información en tiempo real con los usuarios dentro de un modelo sinérgico de sistema eléctrico
(Lohrmann y Kao, 2011)	Gestión de la información	Procesar los datos mediante flujos en paralelo en nubes que actúan como IaaS, con el objetivo de ayudar a las empresas eléctricas a la hora de gestionar los datos entrantes procedentes de los contadores inteligentes y que puedan dar soporte a aplicaciones sensibles a la latencia, como la tarificación en tiempo real
(Wang et al., 2010)	Seguridad	Arquitectura para la protección de la información de la red eléctrica basada en el servicio <i>cloud security</i> proporcionado por la computación en la nube como SaaS.

Tabla 4.2: Resumen de aplicaciones de computación en la nube para la red eléctrica inteligente.

En (Fang et al., 2012), se detalla de manera muy precisa cómo el paradigma de la computación en la nube puede emplearse para la gestión de la información de la SG. La Figura 4.16 presenta la arquitectura planteada, en la que se pueden distinguir, claramente, dos dominios, uno relativo a la computación en la nube y otro a la SG.

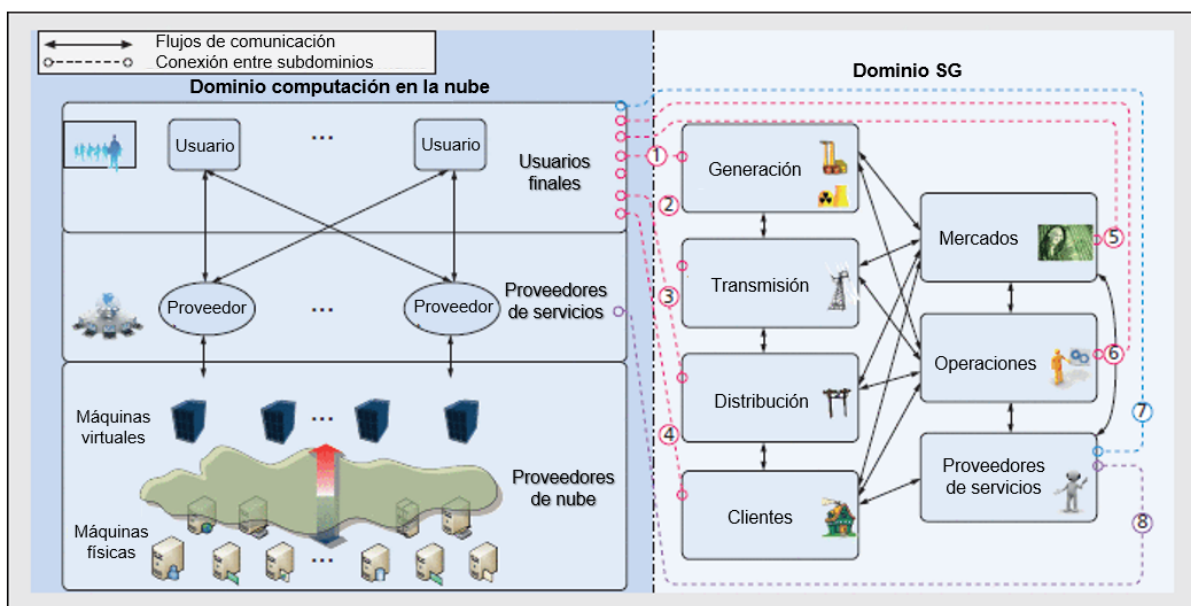


Figura 4.16: Modelo de gestión de la información de la *Smart Grid* basado en servicios en nube (Fang et al., 2012).

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

El NIST establece que una SG está formado por los siete subdominios mostrados en la Figura 4.16. A continuación, se puntualiza sobre cada uno de estos subdominios, los cuales se pueden apreciar con mayor nivel de detalle en la Figura 4.17:

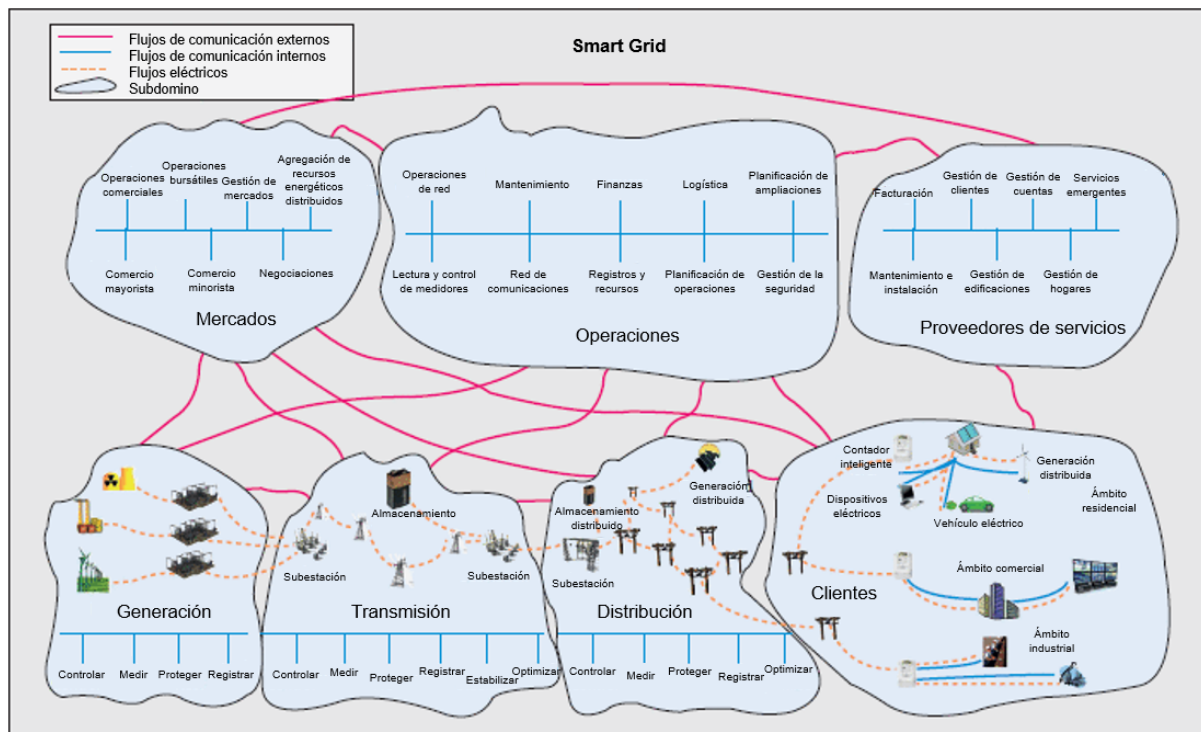


Figura 4.17: Subdominios de la *Smart Grid* (Fang et al., 2012).

- **Generación:** es el punto de partida del suministro eléctrico de la red. En este subdominio se engloba a los actores que se ocupan de la generación de la electricidad, así como de su correspondiente control, medición, protección y registro. Gestionar la información de este subdominio supone encargarse de: registrar los principales problemas de rendimiento y calidad del servicio, como situaciones de escasez o averías en generadores; utilizar los datos de los mercados para, en función de la oferta y la demanda, planificar la generación de electricidad necesaria; registrar el historial de operaciones y de mantenimiento que se dan en cada componente para poder analizar su rendimiento y esperanza de vida.
- **Transmisión:** la información a gestionar en este subdominio incluye, principalmente, a los datos de control generados por los numerosos dispositivos de medición y monitorización desplegados. Dicha información es utilizada para tratar de optimizar el funcionamiento de la red en términos de estabilidad del sistema y pérdidas de energía.
- **Distribución:** el sistema de distribución supone la interconexión eléctrica entre el subdominio de transmisión y el del consumidor. Tiene que estar en constante comunicación con los subdominios de operación y de mercados para gestionar la distribución en función de la oferta y la demanda de cada área. Por tanto, una gran cantidad de información de

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

control y de monitorización, incluyendo datos del estado de carga de la red, deben ser gestionados en este subdominio.

- **Clientes:** son los destinatarios finales de la energía eléctrica, la parte interesada por la que existe todo el sistema eléctrico. Los sistemas de comunicación de la SG permiten a los clientes participar activamente en la red eléctrica a través de funciones avanzadas como el control remoto de su consumo, de su generación o de su almacenamiento de energía eléctrica.
- **Mercados:** es donde la energía eléctrica se comercializa. Esto incluye contratos de suministro, compra de energía renovable y otros arreglos comerciales. La gestión de la información en este subdominio tiene que ver con cantidades masivas de datos para el análisis y optimización de precios o el equilibrado de la oferta y la demanda.
- **Proveedores de servicios:** los actores de este subdominio se encargan de proveer los servicios necesarios para apoyar a los procesos de negocio del resto de actores existentes en la red. Entre los servicios proporcionados se pueden encontrar desde servicios tradicionales, como la gestión de cuentas de clientes y la facturación, hasta servicios novedosos, como la gestión del uso de energía de los clientes o la generación de energía en sus hogares. Estos servicios requieren de una correcta gestión de la información para poder manejar la información de los consumidores, utilizar los datos de uso y precio para controlar el consumo de los clientes y proporcionar una interfaz de interacción para el flujo de información entre el mercado y los consumidores.
- **Operaciones:** los actores de este subdominio se encargan del funcionamiento de la red y del movimiento de la electricidad. Para garantizar la fiabilidad y seguridad de la red, la parte de gestión de información de este subsistema debe facilitar la agregación, validación, modificación y análisis de los datos de monitorización, medición y operación de la red eléctrica.

Por su parte, en el dominio de la computación en la nube se pueden diferenciar los siguientes tres subdominios:

- **Proveedores de la nube:** son las empresas o entidades que ofrecen y administran la infraestructura de hardware y software necesaria para habilitar los servicios de la nube. Los proveedores de la nube operan y mantienen centros de datos a gran escala que albergan servidores, almacenamiento, redes y otros recursos necesarios para ejecutar aplicaciones y servicios en la nube.
- **Proveedores de servicios:** son las empresas que crean, desarrollan y ofrecen a los usuarios finales aplicaciones, servicios y soluciones basadas en la infraestructura de nube proporcionada por los proveedores de nube.
- **Usuarios finales:** consumen los servicios y aplicaciones disponibles en la nube sin tener que preocuparse por la gestión de la infraestructura adyacente.

En el modelo propuesto, la computación en la nube se utiliza, principalmente, para ayudar con tareas de gestión de información como pueden ser el almacenamiento, la integración, la validación, el análisis y la optimización de los diferentes datos existentes en el dominio de la SG. Estos servicios pueden ser ofrecidos por el dominio de la computación de la nube bajo el formato de pago por uso o servicios bajo demanda.

A excepción de los proveedores de servicio, los actores en la parte de gestión de información de los otros seis subdominios SG actúan como usuarios finales del dominio de computación en la nube. Esto es lo que representan las líneas 1-6 de la Figura 4.16. Estos actores analizan sus requerimientos de información y preguntan por soluciones al dominio de computación en la nube como usuarios finales. En otras palabras, estos actores se centran en recolectar y abstraer los requisitos de los servicios de información del dominio de la SG, sin preocuparse por los detalles de cómo esos servicios tienen que ser completados. Son los actores en el dominio de la computación en la nube quienes se responsabilizan del desarrollo, despliegue, mantenimiento, optimización y actualización de dichos servicios.

Los servicios o aplicaciones solicitados por los actores del dominio de la SG pueden existir previamente, como servicios de almacenamiento de información. En caso de que no existan, por ejemplo, el servicio de facturación de un usuario, los proveedores de servicios del dominio de computación en la nube diseñarán y desplegarán estos nuevos servicios. De esta forma, todos los actores del dominio de la SG van a poder utilizar estos servicios y no solo quien los solicitó. Esto supone una mejora en la utilización de servicios y recursos, puesto que no se va a tener que diseñar e implementar la misma función desde cero. Además, el coste de actualizaciones, mejoras y mantenimiento puede eliminarse del dominio de la SG, debido a que los proveedores de servicios del dominio de la computación en la nube serán los que se encargarán de esas tareas.

Los proveedores de servicio del dominio de la SG también pueden actuar como usuarios finales del dominio de computación en la nube o incluso como proveedores de servicio del dominio de computación en la nube. Esto aparece representado en la Figura 4.16 mediante las líneas 7 y 8. Si los proveedores de servicio de la SG únicamente recogen los requisitos de los servicios de información del dominio de la SG y demandan a los proveedores de servicio de la computación en la nube para realizar esos servicios, los proveedores de servicio de la SG actúan realmente como usuarios finales en el dominio de la computación en la nube. Sin embargo, a veces los proveedores de servicio de la SG pueden hacer las veces de los proveedores de servicio de la nube. Esto es debido a que los proveedores de servicio de la SG suelen entender la industria de la energía eléctrica mejor que los proveedores de servicios de la nube, por lo que podría ser mejor que ellos fueran los que se encargaran de diseñar las aplicaciones y servicios haciendo uso de la infraestructura de la nube. El motivo es que, según el número de servicios disponibles en el dominio de la computación en la nube aumenta, los usuarios finales tienen más dificultades para encontrar el más apropiado para sus requisitos, de forma que los proveedores de servicios de la SG podrían ser mejores consejeros.

Además de presentar un modelo de gestión de la información de la SG basado en computación en la nube, los autores también proponen los siguientes cuatro posibles escenarios de aplicación, que demuestran la efectividad de conectar la SG a la nube:

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

- Servicio de gestión de datos de usuario y aplicaciones: tradicionalmente, los datos de los usuarios eran almacenados en las empresas eléctricas. Sin embargo, en la SG puede haber comportamientos del usuario que no estén vinculados con ella, puesto que existen las microrredes, agrupaciones independientes que generan electricidad y ofrecen almacenamiento sin necesidad de obtener energía de las empresas eléctricas. Los proveedores de servicios de la nube ofrecen la posibilidad de servicios de análisis y de almacenamiento de datos bajo el modelo de pago por uso. De esta forma, los clientes en el dominio de la SG pueden transferir sus datos de usuario a la nube y solicitar los servicios correspondientes cuando lo necesiten. Por otro lado, los flujos bidireccionales de información y de energía en la SG posibilitan diversas funciones avanzadas para controlar el funcionamiento de los dispositivos en la SG. Por ejemplo, con los contadores inteligentes se puede obtener información procedente de los dispositivos eléctricos del usuario a la vez que se controla el comportamiento de estos.

Para que añadir nuevas aplicaciones a la plataforma sea posible sin la necesidad de llevar a cabo complejas actualizaciones, se plantea un marco de trabajo como el mostrado en la Figura 4.18. Todos los servicios se ubican en una nube llamada nube de aplicaciones para contadores inteligentes. El desarrollo, mantenimiento y actualización del servicio es realizado por los proveedores de servicio en esta nube. El contador inteligente actúa como una terminal de comandos que solicita servicios a través de una interfaz pública y controla los dispositivos de acuerdo con la información recibida desde la nube. Por ejemplo, un servicio para el control de un sistema inteligente de aire acondicionado que aprende los patrones de actividad del usuario con el objetivo de optimizar su funcionamiento y ahorrar en la factura de la luz. Un contador inteligente de la SG que solicite este servicio podrá controlar el aire acondicionado en coordinación con la información devuelta.

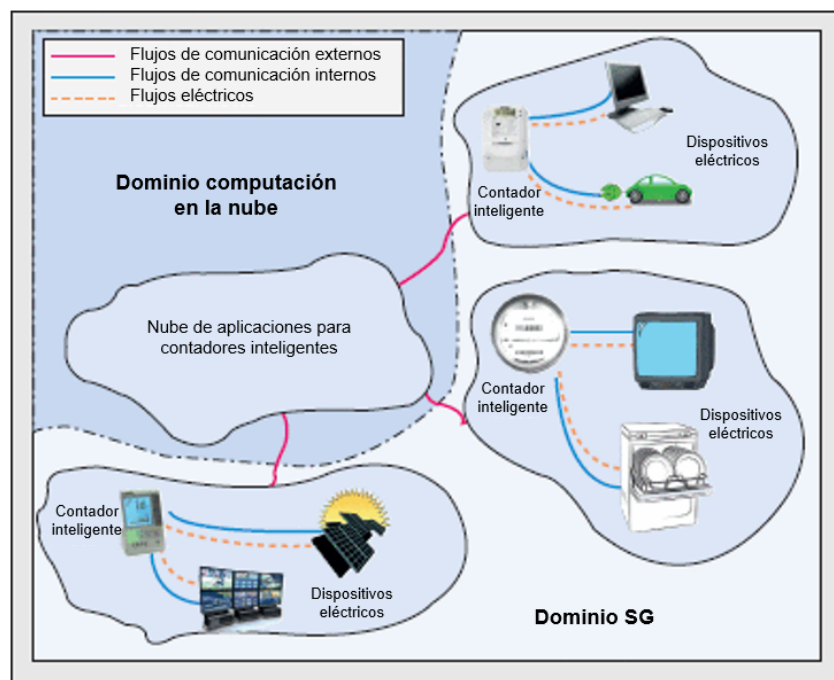


Figura 4.18: Marco de trabajo para contadores inteligentes en la nube (Fang et al., 2012).

- Servicio avanzado de negociación comercial: la generación distribuida de electricidad rebaja las barreras de entrada a nuevos actores y liberaliza el mercado en el dominio SG, puesto que los usuarios pueden comercializar la electricidad generada por ellos mismos. Un servicio avanzado de negociación comercial es necesario en la SG para flexibilizar la compra-venta de activos en la red. El establecimiento y mantenimiento de un sistema de este tipo es costoso, especialmente para pequeñas empresas o para usuarios que comercializan su electricidad, por lo que un servicio bajo el modelo de pago por uso resulta interesante. El almacenamiento de información, el análisis, los cálculos de estrategias, las opciones avanzadas de negociación como, por ejemplo, subasta, e incluso la publicidad, son ofrecidos por los proveedores de servicios de la nube como servicios. Los usuarios indican lo que quieren comprar o vender y solicitan al proveedor un servicio de negociación. Esto es similar a cuando alguien utiliza un programa para negociar acciones en una bolsa de valores. El sistema de servicios de negociación comercial encontrará la mejor opción para los usuarios.
- Servicio de análisis de la información acerca del funcionamiento de la red: la SG genera una gran cantidad de datos debido a su operación a gran escala y el almacenamiento, análisis en tiempo real y optimización de los mismos no resulta trivial para las empresas eléctricas tradicionales. Traspasar estas tareas al dominio de la computación en la nube para luego solicitarlas como servicios resulta conveniente, debido a que los proveedores en la nube disponen de centros masivos de computación y almacenamiento de datos.
- Servicio de recomendación, consultoría y publicidad: la forma en las que los clientes hacen uso de la electricidad supone una información de gran valor. Esta puede emplearse para realizar recomendaciones a los usuarios con el objetivo, por ejemplo, de reducir el coste de sus facturas, o para mejorar el funcionamiento de su red. Por otro lado, desde el punto de vista de los vendedores, dicha información resulta útil para hacer un uso más efectivo de su publicidad.

4.2.2.2. Computación en la nube y V2G como tecnologías para gestionar los vehículos eléctricos en la red eléctrica inteligente

Uno de los principales aspectos que diferencia a la red eléctrica inteligente de la tradicional es la capacidad de soportar flujos de energía bidireccionales. En la SG, la energía eléctrica no va solo desde las grandes plantas de generación hacia los usuarios finales, sino que también puede ir en sentido inverso. De esta forma, en la sección de distribución de la SG aparece un nuevo actor denominado prosumidor, que es aquel consumidor que devuelve energía eléctrica a la red. Este rol de prosumidor es el que se pretende dar a los vehículos eléctricos.

La idea principal para integrar los vehículos eléctricos en la red eléctrica inteligente pasa por utilizarlos como medios de almacenamiento, de manera que almacenen energía eléctrica cuando haya un excedente para recuperarla cuando haya demanda. Este pensamiento nace motivado por el hecho de que los vehículos eléctricos están equipados con baterías de gran tamaño y la mayor parte del tiempo permanecen estacionados. Según unos estudios realizados en Estados Unidos, la media de tiempo que un vehículo es conducido al día no supera los 80 minutos, lo cual apenas

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

representa un 5 % de las horas que tiene un día. También se indica que, si tan solo uno de cada cuatro vehículos en dicho país fuera eléctrico, la actual capacidad de almacenamiento de la red en el país se duplicaría (Rigas et al., 2015). Por tanto, la utilización de los vehículos eléctricos como almacenamiento auxiliar de la red se considera de un enorme potencial para lograr unos sistemas de energía más eficientes.

V2G (*Vehicle to Grid*) es la tecnología que permite a los vehículos eléctricos transferir la energía almacenada en sus baterías de vuelta a la red eléctrica. Dicho proceso puede realizarse de manera sencilla en las propias estaciones de suministro de carga por medio de cargadores bidireccionales. Gracias a esta novedosa tecnología, los vehículos pueden actuar como un almacenamiento distribuido de la energía. Durante los períodos de alta demanda eléctrica como, por ejemplo, épocas de olas de calor o de frío donde la población necesita una gran cantidad de energía para enfriar o calentar sus casas respectivamente, los vehículos pueden liberar parte de su energía almacenada a la red, actuando como una especie de reserva de energía. Esto ayuda a mantener la estabilidad la red y a mitigar los picos de consumo, reduciendo la necesidad de activar fuentes de energía adicionales y mejorando la eficiencia global del sistema eléctrico. Por otro lado, cuando hay un excedente de energía en la red, como ocurre con la generación solar o eólica en momentos de baja demanda, los vehículos eléctricos pueden cargar su batería, aprovechando el exceso de energía renovable y contribuyendo a su almacenamiento para su uso posterior, reduciendo así el desperdicio de energía.

Por lo tanto, se considera que la tecnología V2G debe jugar un papel de gran importancia en la transición hacia un sistema energético más ecológico y sostenible. Además, aporta una serie de ventajas que benefician a todos los actores implicados en la red eléctrica (Ravi y Aziz, 2022):

- A los propietarios de los vehículos eléctricos: V2G abre nuevas vías de aprovechamiento de los vehículos eléctricos, por ejemplo, va a permitir su utilización como fuente doméstica de almacenamiento de energía y de respaldo en caso de emergencia. También va a poder aprovecharse como una fuente de ingresos económicos. Para ello, basta con seguir una estrategia basada en adquirir electricidad durante el período de menor demanda con el objetivo de venderla en las horas de mayor demanda. Ambos aspectos mencionados pueden resultar sumamente atractivos a la hora de fomentar la adquisición de vehículos eléctricos.
- A los operadores de la red: V2G contribuye, por un lado, a mantener la estabilidad de la curva de generación y consumo de energía, evitando desequilibrios entre la oferta y la demanda y picos de demanda. Por otro lado, esta nueva tecnología permite utilizar los vehículos como medios para el almacenamiento distribuido de la energía. Fuentes de energías renovables, como la solar o la eólica, están inevitablemente sujetas a variaciones en su disponibilidad en función de las condiciones climatológicas, por tanto, las baterías resultan una herramienta ideal para paliar la fluctuación de la cuota de energías renovables, pudiendo almacenar el excedente de energía generado en momentos de baja demanda y, así, compensar la mencionada fluctuación, garantizando un suministro constante y fiable. A mayores de los beneficios individuales, V2G aporta un valor global adicional, que es aprovechar la infraestructura eléctrica de una manera más eficiente, evitando o

posponiendo la necesidad de realizar costosas inversiones para satisfacer la nueva fuente de demandas que suponen los vehículos eléctricos.

- Al Gobierno: la tecnología V2G desencadena una transformación de gran alcance, da origen a una nueva economía circular en la sociedad que promueve la eficiencia y la sostenibilidad, proporciona una mayor seguridad energética, tanto de suministro como de calidad, ejerce un efecto positivo en la reducción de la huella de carbono y reduce la contaminación acústica en las ciudades, mejorando la calidad de vida de sus habitantes, puesto que los motores eléctricos apenas hacen ruido.
- A la industria eléctrica: V2G presenta una nueva oportunidad de negocio en el sector eléctrico, abriendo una serie de posibilidades que engloban una amplia gama de servicios, como los relacionados con el equilibrio y la gestión eficiente de la red eléctrica o con el almacenamiento de energías renovables.

Sin embargo, el área de estudio de la interacción entre vehículos eléctricos y red eléctrica inteligente no debe verse solo desde el lado de cómo los vehículos pueden ayudar a aliviar la tensión de la red, sino también de cómo la SG puede reducir el número de veces que un vehículo debe parar a repostar. La tecnología que permite el traspaso de corriente de la red eléctrica a los vehículos eléctricos se conoce como G2V (*Grid to Vehicle*), aunque frecuentemente el término V2G se utiliza para referirse a la comunicación bidireccional entre red y vehículo. Existe una investigación llevada a cabo en el estado de California que afirma que el 40 % de los propietarios de vehículos eléctricos en este estado no es capaz de cubrir con la batería de su vehículo la distancia que necesita recorrer en su día a día (Rigas et al., 2015). Por tanto, si un gran número de vehículos eléctricos van a necesitar cargarse diariamente, se hace imprescindible el desarrollo de mecanismos para evitar que las recargas se concentren en los mismos períodos de tiempo, minimizando la posibilidad de picos de tensión en la red eléctrica.

La Figura 4.19 trata de ilustrar lo comentado hasta el momento. Los vehículos eléctricos quedan integrados en la red eléctrica como prosumidores, siendo las primeras y las últimas horas del día los períodos en los que se concentra la adquisición de energía por parte de los vehículos, mientras que las tardes se convierten en el momento del día en el que más electricidad es devuelta desde los vehículos hacia la red.

Parece evidente que la información fiable y en tiempo real es fundamental para lograr hacer el mejor uso posible de la energía de la red en cada momento del día. La computación en la nube, con su capacidad para procesar grandes cantidades de datos en milésimas de segundo, es un perfecto aliado para ayudar a la SG a tomar las mejores decisiones en función de las limitaciones energéticas existentes en cada instante de tiempo. En los dos próximos subapartados se expondrán algunos de los estudios teóricos y de los proyectos implementados en la vida real más relevantes, en los que se presentan soluciones basadas en computación en la nube para una mejor integración de los vehículos eléctricos en la SG.

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

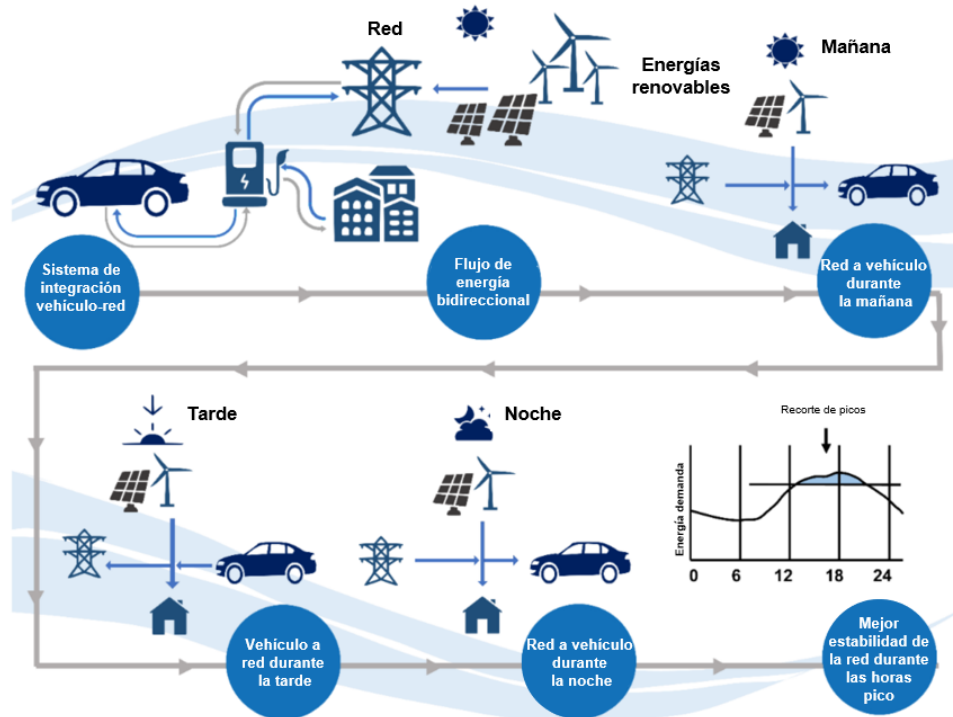


Figura 4.19: Ilustración del concepto de uso de la tecnología V2G a lo largo del día (Ravi y Aziz, 2022).

Existen numerosos artículos en los que se desarrollan soluciones basadas en computación en la nube, así como en el resto de las tecnologías de computación presentadas con anterioridad, para integrar de forma óptima los vehículos eléctricos en la red eléctrica. En (Wu et al., 2014) y en (Chekired y Khoukhi, 2017) se proponen plataformas basadas en computación en la nube para la planificación óptima de las recargas de los vehículos eléctricos. Dichas plataformas, a grandes rasgos, se compone de tres módulos: uno de adquisición de datos, para recolectar el plan de intención de carga y descarga del usuario y el estado de carga en tiempo real de la red eléctrica; un centro de control de servicios en la nube, responsable del procesamiento de los datos de usuarios y de la red eléctrica para calcular el plan óptimo; y un módulo de distribución, para coordinar y controlar el funcionamiento de las estaciones de suministro y para entregar a cada usuario dicho plan óptimo. En (Misra et al., 2020) se plantea un marco de nube en el que los vehículos eléctricos y las zonas de estacionamiento cuentan con dispositivos IoT para comunicarse con la nube, en la cual se ejecuta un algoritmo de asignación dinámica. En función de la ubicación y del nivel de carga, el vehículo recibirá un mensaje de a qué punto de carga dirigirse. En (Rajeev y Ashok, 2014) se da un enfoque a nivel local, de cada hogar. Se propone instalar en cada casa un nodo cliente de la nube que actúe como controlador local para indicar al usuario el horario recomendado de recarga de su vehículo, así como de todos sus electrodomésticos, considerando, en caso de existir, las fuentes de generación eléctrica propias del usuario.

En definitiva, aunque cada propuesta presenta unos matices diferentes, todas se basan en tratar de coordinar las demandas de los vehículos para que no se concentren en los mismos períodos de tiempo y, así, evitar sobrecargas en la red. A continuación, se va a detallar con mayor

profundidad una de las propuestas teóricas anteriores, concretamente la de (Chekired y Khoukhi, 2017), por ser la que tiene las figuras más autoexplicativas.

En (Chekired y Khoukhi, 2017), se plantea un modelo de interacción entre la SG y los vehículos eléctricos basado en la planificación de unos calendarios de carga y descarga para optimizar los tiempos de espera y atribuir niveles de prioridad para los vehículos eléctricos en cada estación de suministro público o EVPSS (*Electric Vehicle Public Supply Station*). La propuesta se apoya en dos pilares fundamentales: una arquitectura distribuida y el uso de la computación en la nube.

La computación en la nube se utiliza para gestionar las demandas de los vehículos eléctricos y aliviar las limitaciones de capacidad y almacenamiento de la SG. Los calendarios de carga/descarga creados por los usuarios de vehículos eléctricos se programan utilizando servicios de la nube. Los mejores calendarios en términos de tiempo de espera y consumo de energía se envían a los vehículos eléctricos.

La arquitectura distribuida se ve plasmada en la Figura 4.20. Involucra a los vehículos eléctricos, a los centros de datos en la nube, a las EVPSSs y a la SG. Cada vehículo eléctrico tiene la capacidad de comunicarse, mediante una tecnología de comunicación inalámbrica, con cualquier EVPSS dentro de su área de cobertura. Las EVPSSs están conectadas a la SG y se encuentran divididas en grupos. Cada uno de estos grupos cuenta con una estación local llamada LSC (*Local Station Controller*) cuya función es actuar como nexo de comunicación entre las EVPSS y la estación central situada en la plataforma de computación en la nube, llamada CSC (*Central Station Controller*). La disposición planteada permite que los LSCs puedan comunicarse con cada EVPSS en tiempo real para recopilar las solicitudes que estos reciben procedentes de los vehículos eléctricos. Dichas solicitudes no tienen por qué ser demandas de carga o descarga, sino que pueden tratarse de consultas. Por ejemplo, un conductor puede querer conocer qué estaciones están disponibles en un determinado momento o cuál es su precio. La CSC recolecta toda la información procedente de las LSCs para que sea procesada en la plataforma de nube y, así, poder dar una respuesta rápida y precisa a la LSC correspondiente. Por tanto, con esta distribución se tiene una vía de comunicación entre la nube y los vehículos eléctricos.

La Figura 4.21 muestra un diagrama con un escenario típico de intercambio de mensajes entre las diferentes entidades de la arquitectura propuesta. En primer lugar, se muestra el flujo de comunicación que se produce al registrar o actualizar un perfil. Para que un vehículo eléctrico o EV (*Electric Vehicle*) pueda formar parte de este ecosistema, el conductor tiene que registrar su vehículo para crearle un perfil. Dicho perfil quedará asociado a la siguiente información: un identificador único, un nombre del usuario, una contraseña, un domicilio y una especificación del tipo de batería del vehículo. El usuario y contraseña se utiliza para establecer sesiones de comunicación seguras y privadas, mientras que las características de la batería sirven para calcular el tiempo que tarda en cargarse y descargarse. El registro o la actualización de un perfil se lleva a cabo a través de una aplicación *web* proporcionada por el proveedor de la nube. Introducidos los datos, la plataforma de nube comparte la información con la SG.

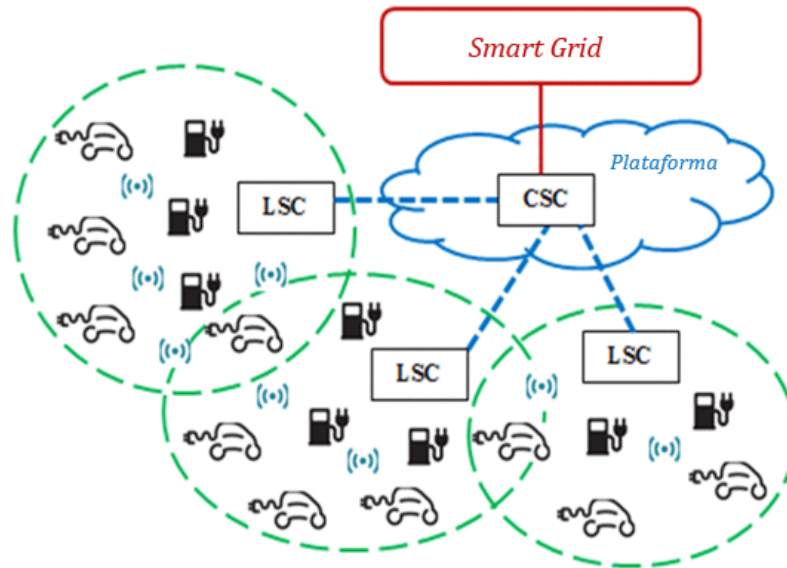


Figura 4.20: Arquitectura distribuida basada en nube para la integración de los vehículos eléctricos en la *Smart Grid* (Chekired y Khoukhi, 2017).

Una vez que el vehículo tiene un perfil creado, los usuarios de vehículos eléctricos pueden crear diferentes calendarios para solicitar sus demandas de carga o descarga. La información que incluyen estos calendarios es la siguiente: el identificador único del vehículo, su localización, su estado de carga, en cuánto tiempo quiere tenerse enchufado y cuál es el porcentaje de batería mínimo que se quiere alcanzar antes de ser desenchufado.

En base a las distintas peticiones de calendario de cada vehículo eléctrico, la plataforma de nube analiza qué estación y horario resultaría más adecuado para cada uno y les envía el calendario óptimo. El segundo flujo de comunicación que puede observarse en la Figura 4.21 muestra este proceso. Para poder enviar calendarios a la plataforma de nube, el usuario tiene primero que autenticarse en ella. Recibido un calendario, la plataforma de nube consulta a la SG el precio de la electricidad y la situación de la oferta y la demanda. Obtenida esa información y conocida la ubicación del vehículo solicitante, la plataforma de nube consulta al LSC más propicio para que le envíe información sobre el estado de sus EVPSSs. Con ello, la plataforma de nube consigue todos los datos que necesita para contrastar la información contenida en el calendario solicitado. Cotejado el calendario, la plataforma de nube da respuesta al vehículo solicitante enviándole un calendario óptimo para su situación. Dicho calendario, puede ser aceptado o rechazado por el usuario solicitante. En caso de que satisfaga al usuario, la plataforma de nube notifica a la SG para que registre una nueva carga o descarga en la EVPSS y hora acordada. En caso contrario, el usuario solicitaría un nuevo calendario y se repetiría el mencionado proceso.

Por último, se puede apreciar un tercer flujo de comunicación en la Figura 4.21, el cual se repite periódicamente entre SG y LSC. Este sirve para que la SG conozca en todo momento la situación de oferta y demanda existente en cada instante de tiempo.

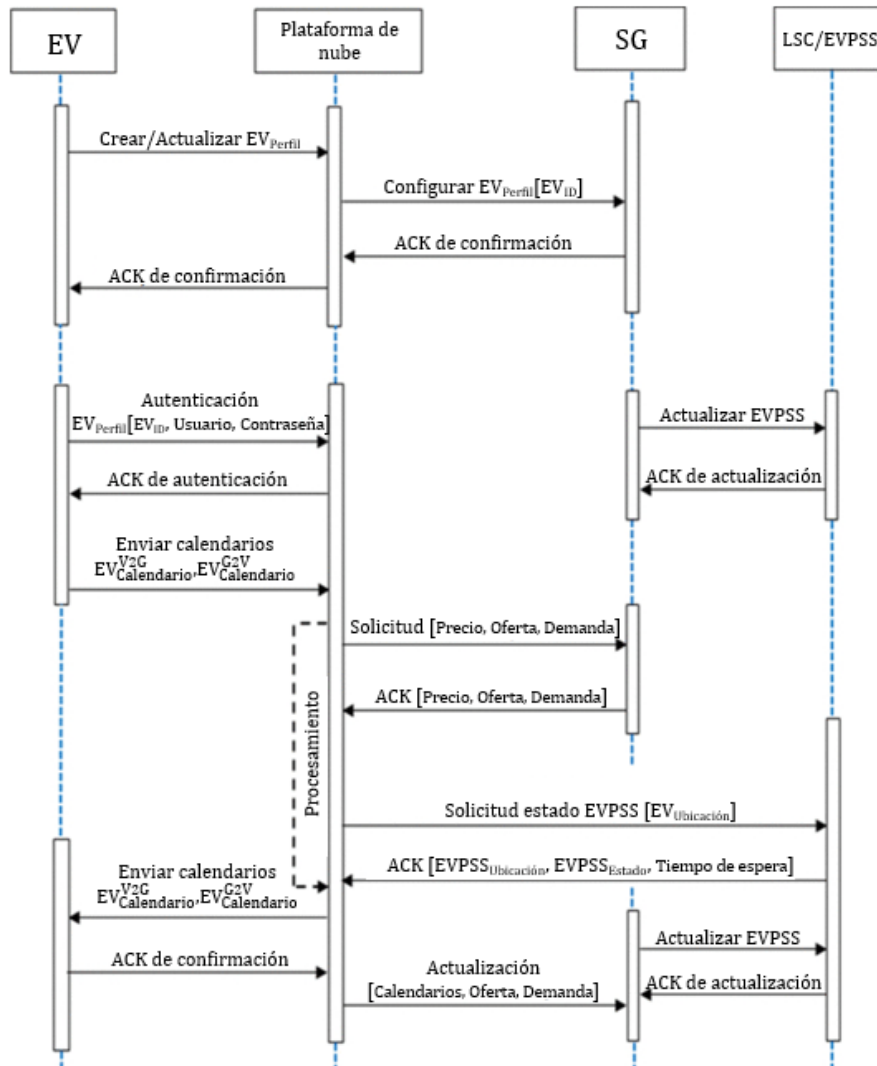


Figura 4.21: Diagrama de intercambio de mensajes en una arquitectura distribuida basada en nube para la integración de los vehículos eléctricos en la *Smart Grid* (Chekired y Khoukhi, 2017).

Ejecutando simulaciones en MATLAB e implementando un modelo de movilidad en el simulador SUMO-Veins, los autores demuestran que con esta propuesta se logra que la energía disponible en la red sea más o menos constante, sin que existan picos de demanda o de oferta que sobrecarguen la red. La Figura 4.22a muestra la energía demandada y suministrada a la red en un día aleatorio en la ciudad canadiense de Toronto, escalado por un factor de 1/1500. Se puede observar que la diferencia entre demanda y suministro es notable entre las 12 de la mañana y las 9 de la noche, debido a que es el período de tiempo en el que la mayoría de usuarios buscan cargar sus baterías. La Figura 4.22b muestra cómo cambiarían las curvas de la gráfica anterior si se aplicara el modelo propuesto. En este caso, la curva de la demanda es mucho más estable, oscilando unos 1100 kwh entre las horas de mayor y menor consumo, frente al caso anterior en el que esta variación era de unos 1600 kwh. Además, se consigue que el total de energía suministrada sea durante casi todo el día superior a la energía demandada, por lo que

la curva de energía demandada-suministrada se sitúa en su mayoría por debajo de los 0 kwh, a diferencia de en la Figura 4.22a.

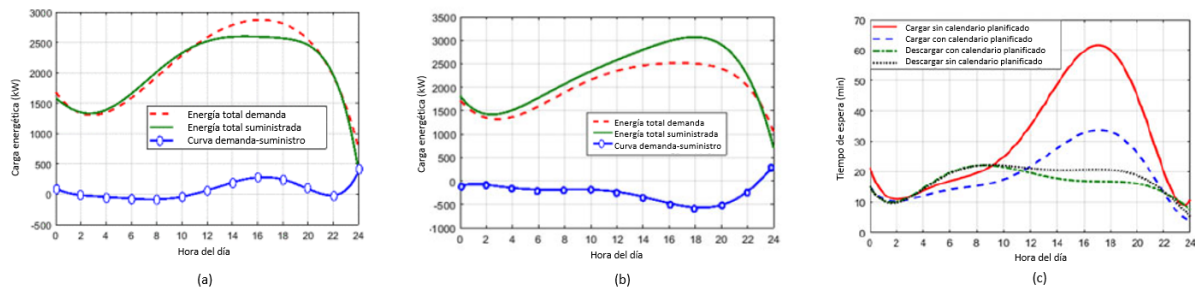


Figura 4.22: Impacto de los vehículos eléctricos en la red eléctrica utilizando o no una arquitectura distribuida basada en nube. (a) Energía total demandada y suministrada a la red frente a la curva de energía demanda-suministro. (b) Energía total demandada y suministrada a la red frente a la curva de energía demanda-suministro utilizando los calendarios de carga y descarga. (c) Tiempo empleado para cargar y descargar un vehículo eléctrico utilizando y sin utilizar los calendarios de carga y descarga (Chekired y Khoukhi, 2017).

Al mismo tiempo que se consigue una mejora en el funcionamiento de la red eléctrica, la arquitectura distribuida basada en nube propuesta consigue optimizar el tiempo de espera de los vehículos eléctricos en las EVPSSs, tal y como puede apreciarse en la Figura 4.22c, lo cual influye de manera directa en la satisfacción de los usuarios, siendo otro beneficio más que convierte al modelo propuesto en una apuesta de gran valor e interés.

4.2.2.3. Análisis de la viabilidad de las soluciones planteadas

Las soluciones planteadas en el apartado 4.2.2 tienen como objetivo facilitar la integración de los vehículos eléctricos en la red eléctrica. Para este fin, la computación en la nube puede ayudar tanto desde el lado de los vehículos como de la red. A diferencia de los estudios presentados en el apartado 4.2.1, los cuales en su mayoría no contaban con datos empíricos o experimentales que respaldaran las propuestas, en esta ocasión existen multitud de proyectos piloto que corroboran la eficacia de las aplicaciones.

En un primer lugar se ha presentado una tabla que recoge varios ejemplos que muestran los diferentes ámbitos de aplicación de la computación en la nube en una red eléctrica inteligente, con especial interés en las áreas de gestión de la información y gestión de la energía. Debido a que el enfoque del presente trabajo no está en la red eléctrica, no se ha profundizado en los detalles de estas propuestas, a excepción del artículo (Fang et al., 2012), que se ha utilizado como modelo para explicar cómo interactúan la computación en la nube y la SG. La mayor evidencia de la prosperidad de este binomio se refleja en la existencia de múltiples empresas desarrollando productos específicos para este nicho de mercado. A continuación, se citan un par de ejemplos como evidencia de que la computación en la nube es ya hoy en día una tecnología fundamental en las redes eléctricas inteligentes.

Enerloud es un ejemplo en el área de gestión de la información, un sistema completo para monitorizar y administrar una SG, que soluciona la captación y tratamiento de datos, así como su posterior análisis y explotación. Nace de un proyecto de Innovación I+D que DANTIA Tecnología ha desarrollado junto a otras empresas privadas, en colaboración con el Centro de Investigación de la Universidad Carlos III de Madrid y financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), dependiente del Ministerio de Economía y Competencia. Se trata de una solución SaaS en la nube que facilita el acceso, análisis y gestión de las medidas energéticas a los usuarios finales, desde cualquier ubicación y dispositivo, de manera ágil y sin necesidad de mantener una infraestructura costosa. Toda la gestión y análisis de datos tienen lugar en tiempo real, proporcionando a los usuarios respuestas rápidas y operativas para cualquier toma de decisiones eficaz. Su objetivo principal es optimizar la eficiencia del consumo energético en empresas, organizaciones e instituciones (Tecnología, s.f.).

En el área de gestión de la energía, la empresa californiana Verdigris Technologies ha desarrollado una avanzada tecnología de sensores que puede instalarse rápida y fácilmente en los cuadros eléctricos de cualquier edificio con el objetivo de evitar el despilfarro energético y reducir los costes de funcionamiento de las instalaciones. Un software de aprendizaje automático se encarga de utilizar los datos de los sensores para detectar patrones y realizar reprogramaciones automáticas, así como proponer acciones de mejora. Tienen soluciones verticales para centros de datos, fábricas, centros comerciales o cadenas hoteleras (Technologies, s.f.). En su día, esta *startup* norteamericana consiguió más de 40 millones de dólares de financiación, demostrando el potencial de su modelo de negocio y el interés de los inversores en el sector. En su página web pueden encontrarse diferentes casos reales de negocios que han confiado en ellos, por ejemplo, el hotel Gran Hyatt de San Francisco, en el cual se ha conseguido un ahorro del 20 % en la factura de la luz, amortizando la inversión realizada en Verdigris en ni tan siquiera seis meses.

Existen numerosos proyectos implementados en diferentes lugares del planeta que avalan el potencial de la utilización de la tecnología V2G y la computación en la nube para resolver los principales retos de la electromovilidad y hacer de esta una realidad viable y sostenible. V2G Hub es un portal cuyo propósito es agrupar y proporcionar información sobre los proyectos V2G existentes en todo el mundo (V2G Hub, s.f.). En total, a día 11 de septiembre de 2023, se contabilizan 128 proyectos, siendo Europa el continente que aglutina la mayoría, tal y como puede apreciarse en la Figura 4.23. Cada uno de estos proyectos es fruto de la alianza de una serie de socios, entre los que siempre existe un fabricante de vehículos, una compañía eléctrica y un proveedor de servicios tecnológico basado en nube.

De los 128 proyectos recogidos en (V2G Hub, s.f.), Nissan es el fabricante de vehículos que más fuerte está apostando por la tecnología V2G, siendo partícipe en casi un tercio de estos proyectos. El Nissan Leaf y el Nissan e-NV200 son los dos modelos de vehículos eléctricos de la compañía japonesa, coche y furgoneta respectivamente, que cuentan con tecnología V2G. En cuanto a compañías eléctricas, el grupo Enel es quien ha demostrado un mayor interés por el desarrollo de la tecnología V2G. Se trata de una multinacional productora y distribuidora de energía eléctrica, además de gas, a la que pertenece, por ejemplo, Endesa, empresa energética con un 33 % de cuota del mercado eléctrico en España al cierre del cuarto trimestre de 2022 (Pérez, 13 de mayo de 2023). Respecto a los proveedores de servicios, destaca Nuvve, un desarrollador



Figura 4.23: Proyectos V2G a lo largo del planeta (V2G Hub, s.f.).

tecnológico que a través de su plataforma inteligente GIVE facilita los servicios de carga entre los vehículos eléctricos y los mercados. GIVE es una plataforma basada en la nube que permite la carga inteligente, bidireccional y V2G. Gracias a ella, los vehículos eléctricos pueden convertirse en recursos de almacenamiento de energía distribuidos y fiables con capacidad para proporcionar servicios de red, servicios a nivel de vehículo y gestión de carga de edificios conectados a la red. La carga inteligente garantiza que cada vehículo eléctrico esté cargado y listo para circular cuando sea necesario (Nuvve, agosto de 2021). La Figura 4.24 muestra el esquema de funcionamiento de GIVE.

La cooperación de las tres empresas mencionadas ha dado lugar a alguno de los proyectos V2G de mayor relevancia. Por ejemplo, dentro del proyecto llamado Parker, pusieron en marcha, en Copenhague en agosto de 2016, el primer centro logístico V2G completamente comercial del mundo. Con el término “completamente comercial” se hace referencia a que está basado exclusivamente en componentes y tecnologías que pueden ser adquiridos por el consumidor, desde vehículos eléctricos, hasta estaciones de carga, pasando por la plataforma que gestiona el sistema V2G (Nissan Official Europe Newsroom, 29 de agosto de 2016).

El primer cliente en implantar dicha instalación V2G en condiciones comerciales fue la compañía Frederiksberg Forsyning, una empresa local de suministro de servicios públicos del municipio danés de Frederiksberg, quien compró 10 Nissan e-NV200 y 10 módulos V2G de Enel para su aparcamiento. A través de estos módulos, los vehículos toman y devuelven la electricidad de la red eléctrica nacional en función de la demanda, actuando como un almacén

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

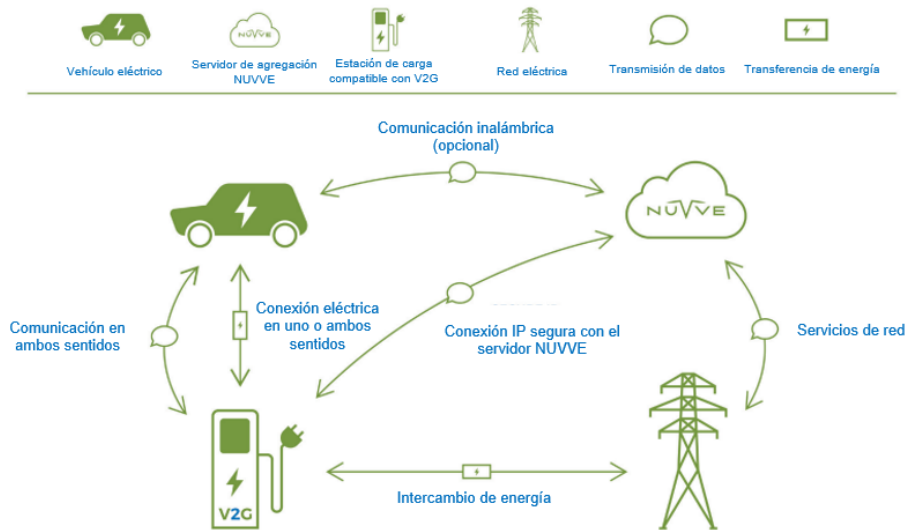


Figura 4.24: Funcionamiento de GIVE (Nuvve, agosto de 2021).

móvil de energía. El control de la instalación es llevado a cabo por la plataforma inteligente GIVE, quien se encarga de controlar el flujo de electricidad desde y hacia los vehículos. A finales del 2017, los resultados que la empresa Frederiksberg Forsyning obtuvo fueron unos ingresos de 1400 euros por vehículo y año por la prestación de servicios V2G, siendo la disponibilidad de sus vehículos de 16:00 a 6:00 a diario y de continuo durante el fin de semana, es decir, fuera del horario laboral, simplemente por dejar los vehículos enchufados al aparcarlos antes de irse a casa (The Polish Alternative Fuels Association, 2018).

El primer cargador V2G para uso doméstico del mundo fue lanzado en abril de 2018 por la compañía OVO en Reino Unido (OVO, 18 de abril de 2018). OVO es una empresa proveedora de electricidad y gas natural con sede en Bristol, Inglaterra, conocida por su compromiso con la sostenibilidad y por ofrecer a sus clientes planes de energía verde. Su inmersión en el mundo de los vehículos eléctricos llegó a través del lanzamiento de dos productos: cargadores V2G bidireccionales y una plataforma en la nube para la gestión del sistema V2G llamada Kaluza. En la página web oficial, Kaluza se define como la empresa líder de SaaS en tiempo real, ofreciendo a las empresas energéticas facturación en tiempo real, servicios de red inteligentes y una impecable experiencia de cliente (OVO Energy, s.f.).

En colaboración con Indra, Cenex y Nissan, OVO llevó a cabo, entre los años 2018 y 2021, un proyecto extremadamente ambicioso llamado Sciurus, cuyo objetivo era llevar a cabo la instalación de 320 cargadores V2G bidireccionales en diferentes domicilios a lo largo y ancho de Reino Unido para comprobar el potencial de la tecnología V2G. Eso sí, para esta prueba piloto los únicos vehículos que podían participar eran los modelos Leaf y e-NV200 de la marca Nissan. El funcionamiento del sistema V2G propuesto en el proyecto es sencillo, a través de la aplicación móvil o web de Kaluza, el usuario introduce en la plataforma los horarios en los que va a utilizar su vehículo, junto con el nivel mínimo de carga que va a necesitar. En función de ello, la plataforma analiza en tiempo real el precio de la electricidad y la demanda local existente para determinar cuál es el mejor momento para que el cargador suministre energía al vehículo.

CAPÍTULO 4. COMPUTACIÓN EN LA NUBE APLICADA AL MUNDO VEHICULAR ELÉCTRICO

De la misma forma y según cuando interese en función de los umbrales de energía establecidos por el usuario y del programa de carga escogido, la energía almacenada en la batería puede ser devuelta a la red, con una consecuente retribución económica. Tras las pruebas realizadas a lo largo de los años 2020 y 2021, se demostró que la tecnología V2G puede aliviar la sobrecarga de la red y, al mismo tiempo, reducir el gasto en los hogares. La satisfacción de los usuarios participantes del programa fue elevada y se estimó un ahorro anual de 340 libras. Además, desde OVO se remarcó que esta cifra podría llegar a incrementarse hasta los 720 libras con planes de carga configurados de manera más eficiente (OVO, 3 de junio de 2021).

Respecto a España, aunque ahora parezca que se ha quedado a la cola de Europa en cuanto a electromovilidad se refiere, en 2012 se involucró en el mayor proyecto demostrativo de movilidad eléctrica del mundo hasta el momento. Liderado por Endesa y por Mitsubishi, el proyecto ZEM2ALL pretendía probar de forma masiva los servicios y ventajas de la movilidad eléctrica, con el objetivo de sentar las bases de su despliegue. La empresa Endesa fue la encargada de instalar y gestionar 243 puntos de carga en nueve localizaciones diferentes de la capital de la Costa del Sol, de los cuales 23 eran de carga rápida y 6 permitían la tecnología V2G, convirtiendo a Málaga en el primer lugar de Europa en el que se instalaba un punto de recarga capaz de trabajar de manera bidireccional. Para llevar a cabo el proyecto se necesitó de la participación de 200 ciudadanos, que disfrutaron de un Mitsubishi iMiev en la modalidad de renting por 300 euros al mes. Los vehículos de la flota contaban con una OBU específicamente diseñada para el proyecto que permitía interactuar con un Centro de Control e Información. La información sobre conducción y recarga se recopilaba para ser analizada en el centro y proporcionar una visión de las interacciones de los usuarios de los vehículos eléctricos con la red de recarga, así como el impacto de la movilidad eléctrica en el suministro de energía. Además, los conductores obtenían información útil en tiempo real sobre aquellos aspectos que podían hacer más fácil y eficiente su desplazamiento.

Los resultados del proyecto ZEM2ALL, finalizado en 2016, fueron ampliamente satisfactorios. En cuanto al impacto medioambiental, gracias al proyecto se evitó la emisión de 330 toneladas de CO₂. Por otro lado, en cuanto a los participantes, el proyecto obtuvo una alta valoración en las encuestas de satisfacción, donde el 94 % se mostraba satisfecho o muy satisfecho y el 97 % de los encuestados decía haber igualado o superado sus expectativas iniciales. Además, el 85 % de los participantes decidió quedarse con el vehículo una vez finalizado el proyecto; el 91 % pensaba que había ahorrado dinero todos los meses con su uso y, en general, se dio una nota de 8,38 sobre diez a su experiencia (Endesa, 29 de enero de 2016).

Capítulo 5

Conclusiones

Con la realización de este trabajo se ha pretendido dar testimonio de la capacidad de la computación en la nube para impulsar la electromovilidad y, con ello, un futuro más prometedor en el ámbito del transporte y la sostenibilidad. A continuación, se enumeran las ideas más relevantes desarrolladas a lo largo del presente documento:

- Las redes inalámbricas espontáneas compuestas por terminales móviles sin dependencia de ninguna infraestructura fija suponen un avance sin precedentes dentro de las redes informáticas.
- Las VANETs son un componente crucial de cara al desarrollo de sistemas inteligentes de transporte dentro de las ciudades inteligentes.
- La computación en la nube es una tecnología altamente transformadora capaz de revolucionar cualquier sector económico, que ofrece recursos informáticos ilimitados y la capacidad de almacenar, procesar y acceder a datos y aplicaciones desde cualquier lugar del mundo y en cualquier momento.
- La computación en el borde y en la niebla complementan y perfeccionan el paradigma de computación en la nube cuando la latencia de la comunicación sea de vital importancia.
- Aplicar la computación en la nube en el contexto vehicular supone una mejora en la calidad de vida de la sociedad, puesto que permite optimizar la gestión del tráfico, mejorar la seguridad vial y facilitar la conducción a los usuarios.
- Los vehículos eléctricos son la encarnación de la movilidad limpia y sostenible del futuro. Además, ofrecen ventajas económicas a sus usuarios en cuanto a combustible y mantenimiento.

- La computación en la nube se erige como un interesante motor para impulsar el desarrollo de la electromovilidad. Permite la optimización de la eficiencia energética de los vehículos eléctricos, simplifica la recopilación y análisis de datos en tiempo real, promueve nuevos métodos de carga inalámbrica, ayuda al correcto funcionamiento de la red eléctrica inteligente, propicia la gestión inteligente de la infraestructura de carga y facilita la integración de los vehículos eléctricos en la red eléctrica.

5.1. Obstáculos encontrados

Para la realización del presente documento, se ha seguido una metodología de búsqueda basada en la revisión sistemática de la literatura. Esta decisión ha supuesto una serie de desafíos y dificultades que han puesto de manifiesto la rigurosidad y solidez de este tipo de estudio.

El primer paso fue reflexionar sobre los temas que se querían tratar, con el objetivo de establecer unas palabras claves a partir de las cuales poder encontrar artículos de interés. Sin embargo, según se iban examinando los primeros resultados, los criterios de búsqueda iban variando, hasta el punto de que la línea de investigación del trabajo se iba viendo guiada por la propia literatura de las publicaciones que se iban encontrando.

Type text here

Acotadas las temáticas a exponer, llegó el turno de recopilar los estudios más relevantes. Pese a cribar en una primera instancia los resultados mediante los criterios de búsqueda anteriores, fueron numerosos los documentos con títulos y resúmenes a priori interesantes que acababan siendo publicaciones completamente irrelevantes para el objeto de estudio del trabajo. Por este motivo, hubo que realizar un segundo filtrado de manera manual consistente en leer todos los documentos para seleccionar los realmente interesantes.

El proceso de identificación de estos estudios de interés fue arduo y exhaustivo. Por un lado, la gestión de tanta información es una tarea realmente desafiante que, en ocasiones, se convierte en abrumadora. Además, invertir tiempo y esfuerzo en la lectura de publicaciones que no contribuyen a los objetivos del trabajo acaba siendo desalentador.

Otro obstáculo encontrado que cabe mencionar es la homogeneidad de las publicaciones cuando se indaga en temáticas muy concretas, encontrándose estudios que tratan sobre exactamente lo mismo e, incluso, citan a las mismas fuentes. También, ha resultado sorprendente la baja calidad de algunos artículos, tanto por la escasez de contenido significativo como por las deficiencias de redacción o corrección ortográfica, cuando se supone que se encuentran en bases de datos altamente confiables.

Todas las dificultades mencionadas forman parte del proceso y son las que hacen que la revisión sistemática de la literatura sea un método fiable fundamental para afrontar una investigación. Al final, cada publicación revisada, a pesar de que acabe siendo descartada, contribuye al entendimiento general del tema y fortalece la validez de las conclusiones formuladas.

5.2. Líneas futuras

A lo largo de este trabajo se han examinado diversas áreas de estudio de las cuales se podría haber realizado un análisis más amplio. A continuación, se recapitula lo visto hasta el momento, identificando las temáticas en las que se podría profundizar con un mayor nivel de detalle, así como otras nuevas líneas de investigación que podrían explorarse en futuros estudios relacionados.

El mundo de las redes informáticas vive en una constante evolución. Desde principios de siglo se viene investigando sobre redes inalámbricas espontáneas compuestas por terminales móviles sin dependencia de ninguna infraestructura fija, con el objetivo de encontrar nuevas funciones y servicios que mejoren la calidad de vida de la sociedad. El Capítulo 2 repasa este contexto dinámico, a raíz del cual surgen las VANETs. Estas redes vehiculares *ad hoc* permiten una comunicación efectiva entre los vehículos y la infraestructura vial, dando pie a la creación de nuevos servicios y soluciones en materia de movilidad en múltiples ámbitos como la seguridad vial, la gestión del tráfico o el confort de los pasajeros. Para ampliar la información dada, se podría abordar el funcionamiento de los diferentes protocolos de encaminamiento y de las tecnologías inalámbricas que se utilizan en las redes vehiculares, así como las políticas y marcos regulatorios por las que se rigen. Los *softwares* de simulación son otro foco de estudio de interés dentro del ámbito de investigación de las VANETs, con capacidad para sustentar un trabajo completo dedicado.

La computación en la nube ofrece un plataforma flexible y escalable para el procesamiento de datos en tiempo real, elevando el potencial de las VANETs y abriendo un nuevo abanico de aplicaciones y servicios más avanzados. La sinergia entre las VANETs y la computación en la nube da lugar al nacimiento del paradigma VCC, sobre el cual se cimienta el Capítulo 3. Para sacar el máximo partido a los recursos de computación y almacenamiento de los vehículos inteligentes, la VCC plantea explotarlos ofreciéndolos a otros vehículos y clientes a través de diferentes de servicios de cómputo, almacenamiento, red o aplicaciones. La calidad de estos servicios y la experiencia de los usuarios, así como la seguridad y la privacidad de los datos que estos comparten, son áreas que, a día de hoy, requieren de mayor investigación.

Por su parte, la tecnificación de los vehículos ha llevado a que dejen de tratarse como meros medios de transporte para convertirse en plataformas tecnológicas que integran todo tipo de sensores, sistemas de comunicación y funcionalidades. Aunque en este trabajo se ha hablado de algunos de sus componentes, los vehículos inteligentes constituyen un campo de estudio prácticamente infinito, donde apenas se han dado los primeros pasos hacia la implantación de los vehículos autónomos. Este ámbito no solo abarca aspectos técnicos, como el perfeccionamiento de algoritmos de conducción o la convergencia de tecnologías como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, sino que también plantea desafíos éticos, legales y sociales.

En la actualidad, los vehículos propulsados por combustibles fósiles siguen siendo el modo de transporte mayoritario elegido por los usuarios, aunque aspectos como el precio del petróleo, la concienciación medioambiental o las restricciones de circulación en grandes núcleos urbanos están provocando un aumento en la popularidad de los vehículos eléctricos. Sin embargo, en

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

España y en otros muchos lugares del mundo, la infraestructura eléctrica no está ni mucho menos preparada para un posible *sorpasso* del vehículo eléctrico al vehículo de combustión. El Capítulo 4 está enfocado en el verdadero objetivo del trabajo, resaltar cómo la tecnología de la computación en la nube debe ayudar a impulsar la electromovilidad, tanto mejorando la eficiencia de los vehículos eléctricos para prolongar su autonomía como facilitando su integración en la red eléctrica para evitar caídas o colapsos en el suministro eléctrico.

En lo que respecta a los vehículos eléctricos, existe un abanico de temáticas en las que se podría indagar. Por ejemplo, adentrarse en el estudio de las baterías para analizar los tipos que existen, las ventajas y desventajas de cada una o por qué funcionan gracias a una reacción electroquímica, abordar una comparativa entre los motores eléctricos y los motores de combustión interna o explorar el marco legislativo para conocer las regulaciones y políticas gubernamentales llevadas a cabo para impulsar la movilidad eléctrica.

Debido a que los vehículos inteligentes cuentan con todo tipo de dispositivos inteligentes, resulta sencillo poder recabar y compartir cualquier dato de interés en relación con la eficiencia de un vehículo eléctrico. Las capacidades de almacenamiento y procesamiento que brinda la computación en la nube convierten a esta tecnología en un aliado fundamental en la investigación de la autonomía de los vehículos eléctricos. Como se ha puesto de manifiesto, la nube proporciona un entorno ideal en el que tratar la ingente cantidad de datos que se pueden recolectar de un vehículo y en el que poder realizar infinitas simulaciones y modelados para evaluar y mejorar la eficiencia de los vehículos eléctricos. En el futuro, se podría ampliar esta línea de investigación explorando en detalle cómo los datos recopilados de los vehículos pueden ser aprovechados, por ejemplo, mediante el uso de tecnologías como la inteligencia artificial, el aprendizaje automático o cualquier otra herramienta innovadora.

Por otro lado, fuera ya del ámbito tecnológico, existen múltiples vertientes de estudio en las que se puede progresar para conseguir prolongar la autonomía de los vehículos como, por ejemplo, reducir el peso o mejorar la aerodinámica de los vehículos, fabricar baterías de mayor rendimiento o encontrar nuevos componentes electrónicos, como supercondensadores o electrodos, con mayor eficiencia energética.

En cuanto a la integración de los vehículos eléctricos en la red eléctrica, el principal problema se encuentra en que la sociedad tiende a seguir patrones de movilidad similares, por lo que, por ejemplo, la hora de finalización de la jornada laboral se convierte en un período crítico de demanda en el que todo el mundo quiere enchufar su vehículo al llegar a casa. Estos intervalos de concentración de recargas suponen situaciones de estrés en la red eléctrica, que pueden derivar en apagones o caídas del sistema de suministro eléctrico. Como se ha enfatizado en este documento, el aprovechamiento de los recursos que ofrece la computación en la nube permite eliminar los picos de demanda, a la par que abaratar la factura de la luz de los usuarios al incentivar la compra de energía en horas valle. De esta manera, el uso adecuado de la tecnología evita cuantiosos desembolsos en la mejora de la infraestructura de la red eléctrica existente. Esto no quita que la inversión en investigación, desarrollo e innovación para encontrar nuevas tecnologías que permitan recargas más rápidas, así como en la ampliación y modernización de la infraestructura de carga existente, siga siendo una prioridad si de verdad se quiere apostar por la movilidad

eléctrica.

Referencias

- Ahmed, B., Malik, A. W., Hafeez, T., y Ahmed, N. (2019). Services and simulation frameworks for vehicular cloud computing: a contemporary survey. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2019(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s13638-018-1315-y>.
- Ahmed, Z. E., Saeed, R. A., y Mukherjee, A. (2019). Challenges and Opportunities in Vehicular Cloud Computing. <https://www.igi-global.com/chapter/challenges-and-opportunities-in-vehicular-cloud-computing/224677>.
- Al-Qamash, A., Soliman, I., Abulibdeh, R., y Saleh, M. (2018). Cloud, fog, and edge computing: A software engineering perspective. *2018 International Conference on Computer and Applications (ICCA)*, 276-284. <https://doi.org/10.1109/COMAPP.2018.8460443>.
- Amazon Web Services. (s.f.). *¿Qué es AWS?* <https://aws.amazon.com/es/what-is-aws/>.
- ANFAC. (27 de febrero de 2023). *Barómetro de la electromovilidad 2022*. <https://anfac.com/wp-content/uploads/2023/02/Barometro-Electromovilidad-4T-2022.pdf>.
- Baron, B., Spathis, P., Rivano, H., de Amorim, M. D., Viniotis, Y., y Ammar, M. H. (2017). Centrally controlled mass data offloading using vehicular traffic. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 14(2), 401-415. <https://doi.org/10.1109/TNSM.2017.2672878>.
- BBVA. (s.f.). *Cuál es la autonomía de un coche eléctrico: claves para su uso*. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/cual-es-la-autonomia-de-un-coche-electrico-claves-para-su-uso/>.
- Bera, S., Misra, S., y Rodrigues, J. J. (2015). Cloud computing applications for smart grid: A survey. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 26(5), 1477-1494. <https://doi.org/10.1109/TPDS.2014.2321378>.
- Bitam, S., Mellouk, A., y Zeadally, S. (2015). Vanet-cloud: a generic cloud computing model for vehicular ad hoc networks. *IEEE Wireless Communications*, 22(1), 96-102. <https://doi.org/10.1109/MWC.2015.7054724>.
- BloombergNEF. (s.f.). *New energy outlook 2022*. <https://about.bnef.com/new-energy-outlook/>.
- Bosch. (11 de julio de 2019). *Bosch amplía la vida útil de las baterías de vehículos eléctricos*. <https://www.grupo-bosch.es/noticias-e-historias/bosch-amplia-la-vida-util-de-las-baterias-de-vehiculos-electricos/>.
- Boukerche, A., y De Grande, R. E. (2018). Vehicular cloud computing: Architectures, applications, and mobility. *Computer Networks*, 135, 171-189. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.01.004>.
- Chakraborty, P., Parker, R., Hoque, T., Cruz, J., Du, L., Wang, S., y Bhunia, S. (2022, abril). Addressing the range anxiety of battery electric vehicles with charging en route. *Scientific Reports*, 12(1), 5588. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08942-2>.
- Chekired, D. A., y Khoukhi, L. (2017). Smart grid solution for charging and discharging services

- based on cloud computing scheduling. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 13(6), 3312-3321. <https://doi.org/10.1109/TII.2017.2718524>.
- Cobucci, G. (12 de octubre de 2023). *Xiaomi's bizarre proposal for wireless charging of evs*. *Xiaomi Today*. <https://en.xiaomitoday.it/xiaomi-car-wireless-charging-ev.html>.
- Dai, Y., y Zhang, Y. (2022). Adaptive digital twin for vehicular edge computing and networks. *Journal of Communications and Information Networks*, 7(1), 48-59. <https://doi.org/10.23919/JCIN.2022.9745481>.
- Dalmau, J. (14 de febrero de 2023). *El parlamento europeo ratifica el fin de los coches de combustión en 2035*. *coches.net*. <https://www.coches.net/noticias/la-ue-aprueba-definitivamente-la-prohibicion-de-vender-coches-de-combustion-en-2035>.
- Dinh, H. T., Lee, C., Niyato, D., y Wang, P. (2013). A survey of mobile cloud computing: architecture, applications, and approaches. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 13(18), 1587-1611. <https://doi.org/10.1002/wcm.1203>.
- Dipobagio, M. (2009). An Overview on Ad Hoc Networks. *Freie Universität Berlin*. https://www.mi.fu-berlin.de/inf/groups/ag-tech/teaching/2008-09_WS/S_19565_Proseminar_Technische_Informatik/dipobagio09overview.pdf.
- Dirección General de Tráfico. (10 de febrero de 2022). *Distintivo ambiental cero emisiones (azul)*. <https://www.dgt.es/nuestros-servicios/tu-vehiculo/tus-vehiculos/distintivo-ambiental/etiqueta-cero/>.
- Dirección General de Tráfico. (18 de noviembre de 2020). *Distintivo ambiental*. <https://www.dgt.es/nuestros-servicios/tu-vehiculo/tus-vehiculos/distintivo-ambiental/>.
- Dressler, F., Handle, P., y Sommer, C. (2014). Towards a vehicular cloud - using parked vehicles as a temporary network and storage infrastructure. *WiMobCity '14: Proceedings of the 2014 ACM international workshop on Wireless and mobile technologies for smart cities*, 11-18. <https://doi.org/10.1145/2633661.2633671>.
- El Sibaï, R., Atéchian, T., Abdo, J. B., Tawil, R., y Demerjian, J. (2015). Connectivity-aware service provision in vehicular cloud. *2015 International Conference on Cloud Technologies and Applications (CloudTech)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/CloudTech.2015.7337017>.
- Endesa. (29 de enero de 2016). *Zem2all viaja 4,6 millones de kilómetros y evita a la atmósfera 330 tn co2*. <https://www.endesa.com/es/prensa/sala-de-prensa/noticias/transicion-energetica/movilidad-electrica/zem2all-viaja-46-millones-de-kilometros-y-evita-a-la-atmosfera-330-tn-co2>.
- Enerdata. (s.f.). *Consumo nacional de electricidad*. <https://datos.enerdata.net/electricidad/datos-consumo-electricidad-hogar.html>.
- Fang, X., Misra, S., Xue, G., y Yang, D. (2012). Managing smart grid information in the cloud: opportunities, model, and applications. *IEEE Network*, 26(4), 32-38. <https://doi.org/10.1109/MNET.2012.6246750>.
- Fernández, R. (27 de septiembre de 2022). *Internet de las cosas (iot): dispositivos*

BIBLIOGRAFÍA

- conectados a escala mundial 2019-2030*. Statista. <https://es.statista.com/estadisticas/517654/prevision-de-la-evolucion-de-los-dispositivos-conectados-para-el-internet-de-las-cosas-en-el-mundo/>.
- Foundry. (2022). *Cloud computing study 2022*. <https://resources.foundryco.com/download/cloud-computing-executive-summary>.
- Gaouar, N., y Lehsaini, M. (2021). Toward vehicular cloud/fog communication: A survey on data dissemination in vehicular ad hoc networks using vehicular cloud/fog computing. *International Journal of Communication Systems*, 34(13), 4906. <https://doi.org/10.1002/dac.4906>.
- Ghazizadeh, P., Mukkamala, R., y Fathi, R. (2015). Modeling and predicting fault tolerance in vehicular cloud computing. *2015 International Conference on Computing and Network Communications (CoCoNet)*, 395-400. <https://doi.org/10.1109/CoCoNet.2015.7411216>.
- Ghazizadeh, P., Olariu, S., Zadeh, A. G., y El-Tawab, S. (2015). Towards fault-tolerant job assignment in vehicular cloud. , 17-24. <https://doi.org/10.1109/SCC.2015.13>.
- Gisbert, C. G. (2015). *Gestión y operación de la red eléctrica. esquema de la red eléctrica de españa. asimetría peninsular: generación y consumo. conexiones internacionales*. <https://www.eoi.es/blogs/merme/>.
- Gobierno de Aragón. (s.f.). *El cambio climático*. <https://www.aragon.es/-/el-cambio-climatico>.
- Greenpeace. (9 de diciembre de 2020). *Acuerdo de parís: cinco años de compromisos insuficientes*. <https://es.greenpeace.org/es/sala-de-prensa/comunicados/acuerdo-de-paris-cinco-anos-de-compromisos-insuficientes/>.
- Ho, Q.-D., Gao, Y., y Le-Ngoc, T. (2013). Challenges and research opportunities in wireless communication networks for smart grid. *IEEE Wireless Communications*, 20(3), 89-95. <https://doi.org/10.1109/MWC.2013.6549287>.
- Hussain, R., Abbas, F., Son, J., Kim, S., y Oh, H. (2014). Using public buses as mobile gateways in vehicular clouds. *2014 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, 175-176. <https://doi.org/10.1109/ICCE.2014.6775960>.
- Hwang, T., Jeong, J. P., y Lee, E. (2014). Sana: Safety-aware navigation app for pedestrian protection in vehicular networks. , 947-953. <https://doi.org/10.1109/ICTC.2014.6983341>.
- Iberdrola. (s.f.). *Smart cities: la revolución tecnológica llega a las ciudades*. <https://www.iberdrola.com/innovacion/smart-cities>.
- Issac, G. A., y Mary, A. J. (2019). Validation scheme for vanet. *2019 2nd International Conference on Signal Processing and Communication (ICSPC)*, 11-15. <https://doi.org/10.1109/ICSPC46172.2019.8976645>.
- Jefatura del Estado. (21 de Mayo de 2021). *Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética*. Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/eli/es/1/2021/05/20/7>.
- Jelassi, S., Bouzid, A., y Youssef, H. (2015). Qoe-driven video streaming system over cloud-based vanet. *Communication Technologies for Vehicles*. <https://doi.org/10>

- .1007/978-3-319-17765-6_8.
- Jeong, J., Jeong, H., Lee, E., Oh, T., y Du, D. H. C. (2016). Saint: Self-adaptive interactive navigation tool for cloud-based vehicular traffic optimization. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 65(6), 4053-4067. <https://doi.org/10.1109/TVT.2015.2476958>.
- Joyanes, L. (2018). *COMPUTACIÓN en la nube: Notas para una estrategia española en cloud computing*. Instituto Español de Estudios Estratégicos. <https://revista.ieee.es/article/view/406/706>.
- Junta de Castilla y León. (s.f.). *Operador del sistema eléctrico (red eléctrica de España)*. <https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/operador-sistema-electrico-electrica.html>.
- Karnehm, D., Pohlmann, S., Wiedenmann, A., Kuder, M., y Neve, A. (2023). Introduction of a cloud computing architecture for the condition monitoring of a reconfigurable battery system for electric vehicles. *2023 6th Conference on Cloud and Internet of Things (CIoT)*, 29-33. <https://doi.org/10.1109/CIoT57267.2023.10084883>.
- Kaur, K., Garg, S., Kaddoum, G., Ahmed, S. H., Gagnon, F., y Atiquzzaman, M. (2019). Demand-response management using a fleet of electric vehicles: An opportunistic-sdn-based edge-cloud framework for smart grids. *IEEE Network*, 33(5), 46-53. <https://doi.org/10.1109/MNET.001.1800496>.
- Kempton, W., y Letendre, S. E. (1997). Electric vehicles as a new power source for electric utilities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2(3), 157-175. [https://doi.org/10.1016/S1361-9209\(97\)00001-1](https://doi.org/10.1016/S1361-9209(97)00001-1).
- Keshari, N., Singh, D., y Maurya, A. K. (2022). A survey on vehicular fog computing: Current state-of-the-art and future directions. *Vehicular Communications*, 38, 100512. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2022.100512>.
- Khoda Parast, F., Sindhav, C., Nikam, S., Izadi Yekta, H., Kent, K. B., y Hakak, S. (2022). Cloud computing security: A survey of service-based models. *Computers & Security*, 114, 102580. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2021.102580>.
- Kim, H., Kim, Y.-J., Yang, K., y Thottan, M. (2011). Cloud-based demand response for smart grid: Architecture and distributed algorithms. *2011 IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm)*, 398-403. <https://doi.org/10.1109/SmartGridComm.2011.6102355>.
- Kwak, D., Liu, R., Kim, D., Nath, B., y Iftode, L. (2016). Seeing is believing: Sharing real-time visual traffic information via vehicular clouds. *IEEE Access*, 4, 3617-3631. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2569585>.
- Li, W., Rentemeiste, M., Badeda, J., Jöst, D., Schulte, D., y Sauer, D. U. (2020). Digital twin for battery systems: Cloud battery management system with online state-of-charge and state-of-health estimation. *Journal of Energy Storage*, 30, 101557. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101557>.
- Liu, H., Zhang, Y., y Yang, T. (2018). Blockchain-enabled security in electric vehicles cloud and edge computing. *IEEE Network*, 32(3), 78-83. <https://doi.org/10.1109/MNET.2018.1700344>.
- Lohrmann, B., y Kao, O. (2011). Processing smart meter data streams in the cloud. *2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technolo-*

BIBLIOGRAFÍA

- gies, 1-8. <https://doi.org/10.1109/ISGTEurope.2011.6162747>.
- Mallissery, S., Manohara Pai, M., Ajam, N., Pai, R. M., y Mouzna, J. (2015). Transport and traffic rule violation monitoring service in its: A secured vanet cloud application. *2015 12th Annual IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, 213-218. <https://doi.org/10.1109/CCNC.2015.7157979>.
- Martín, M. J. (22 de marzo 2018). Servicios Cloud: ¿Qué es IaaS, SaaS y PaaS? *Profile Software Services*. <https://15.236.115.188/blog/servicios-cloud-que-es-iaas-saas-y-paas/>.
- Mell, P., y Grance, T. (2011). *The NIST Definition of Cloud Computing*. National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-145>.
- Menghi, C. (14 de agosto de 2015). *Pizza as a Service*. <https://menghi.biz/2015/08/14/pizza-as-a-service/>.
- Mensi, N., Guizani, M., y Makhlof, A. (2016). Study of vehicular cloud during traffic congestion. *2016 4th International Conference on Control Engineering & Information Technology (CEIT)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/CEIT.2016.7929040>.
- Microsoft. (s.f.). *¿Qué es la nube?* <https://azure.microsoft.com/es-es/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-the-cloud>.
- Misra, S., Panigrahi, P. K., y Ghosh, S. (2020). Intelligent vehicle to grid based plug-in electric vehicle with cloud computing. *2020 International Conference on Computer Science, Engineering and Applications (ICCSEA)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICCSEA49143.2020.9132909>.
- Mohammadi, F., y Rashidzadeh, R. (2021). An overview of iot-enabled monitoring and control systems for electric vehicles. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 24(3), 91-97. <https://doi.org/10.1109/MIM.2021.9436092>.
- Moreno, F. M. (2016). Vehículos Eléctricos. Historia, Estado Actual Y Retos Futuros. *European Scientific Journal*. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n10p%25p>.
- Nagothu, K., Kelley, B., Jamshidi, M., y Rajae, A. (2012). Persistent net-ami for microgrid infrastructure using cognitive radio on cloud data centers. *IEEE Systems Journal*, 6(1), 4-15. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2011.2162794>.
- Nikolopoulos, V., Mpardis, G., Giannoukos, I., Lykourantzou, I., y Loumos, V. (2011). Web-based decision-support system methodology for smart provision of adaptive digital energy services over cloud technologies. *IET Digital Library*, 5. <https://doi.org/10.1049/iet-sen.2010.0008>.
- Nissan Official Europe Newsroom. (29 de agosto de 2016). *Nissan, enel and nuvve operate world's first fully commercial vehicle-to-grid hub in denmark*. <https://europe.nissannews.com/en-GB/releases/nissan-enel-and-nuvve-operate-world-s-first-fully-commercial-vehicle-to-grid-hub-in-denmark?selectedTabId=releases>.
- Nuvve. (agosto de 2021). *Turn your ev fleet into a virtual power plant*. <https://nuvve.com/wp-content/uploads/2021/08/nuvve-v2g-give-sell-sheet-aug2021.pdf>.
- Ortiz, G., Zouai, M., Kazar, O., de Prado, A. G., y Boubeta-Puig, J. (2022). Atmosphere: Context and situational-aware collaborative iot architecture for edge-fog-cloud computing. *Computer Standards & Interfaces*, 79, 103550. <https://doi.org/10.1016/>

- j.csi.2021.103550.
- OVO. (18 de abril de 2018). *Ovo launches the world's first widely available domestic vehicle-to-grid charger*. <https://company.ovo.com/ovo-launches-the-worlds-first-widely-available-domestic-vehicle-to-grid-charger/>.
- OVO. (3 de junio de 2021). *World's largest domestic Vehicle-to-Grid trial reveals customers could recover the majority of their household energy costs*. <https://company.ovo.com/worlds-largest-domestic-vehicle-to-grid-trial-reveals-customers-could-recover-the-majority-of-their-household-energy-costs/>.
- OVO Energy. (s.f.). *Ovo vehicle-to-grid trial*. <https://www.ovoenergy.com/electric-cars/vehicle-to-grid-charger>.
- Peng Mei, C. H. F. C. S. Y., Hamid Reza Karimi. (2023). Remaining driving range prediction for electric vehicles: Key challenges and outlook. *IET Control Theory Applications*. <https://doi.org/10.1049/cth2.12486>.
- Portal Movilidad España. (11 de agosto de 2022). *La antigüedad del parque vehicular español crece hasta los 13,5 años y supera la media europea*. <https://portalmovilidad.com/la-antigüedad-del-parque-vehicular-espanol-crece-hasta-los-135-anos-y-supera-la-media-europea/>.
- Pérez, M. (13 de mayo de 2023). *Las cuatro grandes energéticas dominan el mercado eléctrico español*. *Economía Digital*. <https://www.economiadigital.es/noticias/las-cuatro-grandes-energeticas-dominan-el-mercado-electrico-espanol.html>.
- Rajeev, T., y Ashok, S. (2014). Demand management of electric vehicle charging based on a cloud computing framework. *2014 IEEE Conference and Expo Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ITEC-AP.2014.6940969>.
- Ravi, S. S., y Aziz, M. (2022). Utilization of electric vehicles for vehicle-to-grid services: Progress and perspectives. *Energies*, 15(2), 589. <https://doi.org/10.3390/en15020589>.
- Raza, S., Wang, S., Ahmed, M., y Anwar, M. R. (2019). A Survey on Vehicular Edge Computing: Architecture, Applications, Technical Issues, and Future Directions. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2019, 3159762. <https://doi.org/10.1155/2019/3159762>.
- Real Academia Española. (s.f.). *ad hoc*. Diccionario de la lengua española. <https://dle.rae.es/adhoc>.
- Red Eléctrica. (s.f.). *¿Qué son las Smartgrid?* <https://www.ree.es/es/red21/redes-inteligentes/que-son-las-smartgrid>.
- Red Eléctrica de España. (s.f.). *El suministro de la electricidad. un equilibrio entre generación y consumo*. https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/el_suministro_de_la_electricidad.pdf.
- Red Hat. (10 de octubre de 2022). *¿Qué es multicloud?* <https://www.redhat.com/es/topics/cloud-computing/what-is-multicloud>.
- REPSOL. (s.f.). *¿Cuánto tarda en cargarse un coche eléctrico?* <https://www.repsol>

BIBLIOGRAFÍA

- .es/particulares/asesoramiento-consumo/recarga-electrica/.
- Rigas, E. S., Ramchurn, S. D., y Bassiliades, N. (2015). Managing electric vehicles in the smart grid using artificial intelligence: A survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(4), 1619-1635. <https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2376873>.
- Ritcher, F. (28 de abril de 2023). *Big three dominate the global cloud market*. Statista. <https://www.statista.com/chart/18819/worldwide-market-share-of-leading-cloud-infrastructure-service-providers/>.
- Rodríguez, M. (2022). *Paradigmas y tecnologías para procesamiento distribuido: Introducción a la computación en la nube*.
- Rusitschka, S., Eger, K., y Gerdes, C. (2010). Smart grid data cloud: A model for utilizing cloud computing in the smart grid domain. *2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications*, 483-488. <https://doi.org/10.1109/SMARTGRID.2010.5622089>.
- Saleem, Y., Crespi, N., Rehmani, M. H., y Copeland, R. (2019). Internet of things-aided smart grid: Technologies, architectures, applications, prototypes, and future research directions. *IEEE Access*, 7, 62962-63003. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2913984>.
- Shinde, S. V., Hemanth, D. J., y Elhoseny, M. (2023). Chapter 1 - introduction to different computing paradigms: cloud computing, fog computing, and edge computing. *Intelligent Edge Computing for Cyber Physical Applications*, 1-16. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99412-5.00005-8>.
- Tang, L., Li, J., y Wu, R. (2012). Synergistic model of power system cloud computing based on mobile-agent. *2012 3rd IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content*, 222-226. <https://doi.org/10.1109/ICNIDC.2012.6418748>.
- Technologies, V. (s.f.). *Start with a simply better energy meter*. <https://verdigris.co/products/ev2>.
- Tecnología, D. (s.f.). *Plataforma smart grid enerloud*. <https://software.dantia.es/productos/plataforma-smart-grid-enerloud/>.
- The Polish Alternative Fuels Association. (2018). *Electric vehicles as an element of power grid*. https://pspa.com.pl/wp-content/uploads/2023/02/PSPA_V2G_Raport_EN.pdf.
- Tran, M.-K., Panchal, S., Khang, T. D., Panchal, K., Fraser, R., y Fowler, M. (2022). Concept review of a cloud-based smart battery management system for lithium-ion batteries: Feasibility, logistics, and functionality. *Batteries*(2). <https://doi.org/10.3390/batteries8020019>.
- V2G Hub. (s.f.). *Insights*. <https://www.v2g-hub.com/insights#graphs>.
- Vigneri, L., Spyropoulos, T., y Barakat, C. (2016). Storage on wheels: Offloading popular contents through a vehicular cloud. *2016 IEEE 17th International Symposium on A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*, 1-9. <https://doi.org/10.1109/WoWMoM.2016.7523506>.
- Wang, Y., Deng, S., Lin, W.-M., Zhang, T., y Yu, Y. (2010). Research of electric power information security protection on cloud security. *2010 International Conference on*

- Power System Technology*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/POWERCON.2010.5666728>.
- World Health Organization. (17 de junio de 2018). *Global status report on road safety 2018*. <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789241565684>.
- Wu, D., Liu, B., Chen, Z., Xie, W., Huang, X., Pei, S., ... Feng, D. (2014). Cloud computing in electric vehicles charging control and dispatch optimization. *2014 IEEE International Conference on Progress in Informatics and Computing*, 597-600. <https://doi.org/10.1109/PIC.2014.6972404>.
- Xiaocheng Wang, Y. Y. H. M., Qiaoni Han. (2023). Energy-efficient data transmission with proportional rate fairness for nans of smart grid communication network. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. <https://doi.org/10.1186/s13634-023-01007-0>.
- Yang, S., Zhang, Z., Cao, R., Wang, M., Cheng, H., Zhang, L., ... Liu, X. (2021). Implementation for a cloud battery management system based on the chain framework. *Energy and AI*, 5, 100088. <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2021.100088>.
- Yigit, M., Gungor, V. C., y Baktir, S. (2014). Cloud computing for smart grid applications. *Computer Networks*, 70, 312-329. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2014.06.007>.
- Zaidi, T., y Syed.Faisal. (2018). An overview: Various attacks in vanet. *2018 4th International Conference on Computing Communication and Automation (ICCCA)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/CCAA.2018.8777538>.
- Zhang, H., Zhang, Q., y Du, X. (2015). Toward vehicle-assisted cloud computing for smartphones. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(12), 5610-5618. <https://doi.org/10.1109/TVT.2015.2480004>.

