

Multi-agent Systems in the Field of Urban e-mobility: A Systematic Review

D. E. Ruiz de Gauna, C. Villalonga, and L. E. Sánchez

Abstract—Initiatives based on improving urban mobility have been traditionally a high priority. The introduction of the electric vehicle to solve the problems of congestion and pollution within cities has made it possible to solve some of these shortcomings in combustion vehicles. Nevertheless, the needs of dynamic and complex environments that need decentralized solutions have demanded strategies that can cope agilely and efficiently. Multi-agent systems allow overcoming these limitations connected to vehicles through their characteristics: autonomy, local vision and decentralization. In this article, a systematic review (SR) of the existing literature on solutions that combine electric vehicles with the advantages of multi-agent systems is performed. Researches and publications covering a period between 2012 and today are presented, where different approaches are collected to provide solutions to different problems such as routing, electric network, communication and electric charge. In addition, different modeling methodologies, algorithms or simulations implemented in real environments are exposed, where the heterogeneity of the solutions is associated with the nature of the problem.

Index Terms—multi-agent systems, electric vehicles, cities.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas multiagente (SMA) han recibido una atención significativa en el mundo académico, proporcionando numerosas soluciones mediante el procedimiento de dividirlos en tareas más pequeñas para optimizar la búsqueda de las soluciones. Las asignaciones específicas están designadas a entidades autónomas, conocidas como agentes. Los agentes interactúan con los agentes de los alrededores para investigar y aprender nuevos contextos y acciones. Finalmente, los agentes toman decisiones entre varias acciones, realizando acciones para resolver su tarea designada [1]. No obstante, los SMA proporcionan un juego de herramientas flexible y adecuado para resolver problemas multidisciplinarios [2], [3]. Esta topología se enfrenta a una serie de objeciones: problemas de seguridad [4], contexto de aprendizaje, y sobre todo, la coordinación entre agentes [5].

Las necesidades computacionales de los Vehículos Eléctricos (VE) han sido resueltas a través del modelaje mediante los SMA [6]. Las iniciativas científicas a través de soluciones SMA han sido comparadas por numerosos autores frente a sistemas expertos o lenguajes de programación orientados a objetos [7], [8].

D. E. Ruiz de Gauna, Universidad Internacional de la Rioja, España (e-mail: ruizdegauna@vicomtech.org).

C. Villalonga, Universidad Internacional de la Rioja, España (e-mail: claudia.villalonga@unir.net).

L. E. Sanchez, Universidad Internacional de la Rioja y Universidad de Castilla-La Mancha, España (e-mail: luisenrique@sanchezcrespo.org).

Las características asociadas a los SMA ayudan a comprender la idoneidad en su implementación en problemas dinámicos y complejos. Dentro de los rasgos característicos encontramos los siguientes:

- *Liderazgo*: Puede ser predefinido o elegido de manera colaborativa. [9], [10].
- *Función de decisión*: Categorizado según la proporcionalidad de las decisiones respecto a los parámetros del entorno, en lineales [11], [12] y no lineales [13], [14].
- *Heterogeneidad*: El nivel de similitud entre la características y funcionalidades determina si son homogéneos [15] o heterogéneos [16].
- *Parámetros de acuerdo*: Las necesidades y forma de alcanzar acuerdos entre los distintos agentes en función de las métricas determina esta clasificación. De primer orden, acuerdos sobre una métrica, [17]. De segundo orden, acuerdos sobre dos métricas, [18]. Por último, el de orden superior, definido como un acuerdo entre distintos grados que convergen en un punto común [19], supone un nivel más complejo [20].
- *Consideraciones respecto a la demora temporal*: La aceptación de la existencia de dilataciones temporales en los procesos marca esta distinción. Algunos autores no lo tienen en cuenta en sus iniciativas [21], y otros lo incorporan como elemento clave [22].
- *Tipología*: Relacionado con los cambios en la localización y relación de los agentes. Se catalogan como tipologías dinámicas [23] y tipologías estáticas [24].
- *Frecuencia de transmisión de datos*: La forma de activación de los agentes dentro de un proceso puede ser a través del tiempo [25] o a mediante un evento [26].
- *Movilidad*: En base al dinamismo de los sistemas multi-agente se agrupan en estáticos [27] o dinámicos [28].

Dentro del campo de las redes computacionales, las soluciones planteadas se centran en superar ciertas complejidades que van surgiendo a la par de los desarrollos tecnológicos: Computación en la nube [29]–[31], redes sociales [32]–[34], ciberseguridad [35]–[37] y enrutamiento [38]–[40]. Otros campos donde la aplicación de los SMA ha tenido una gran aceptación, han venido dentro de las soluciones ligadas a la optimización de los entornos urbanos [41]–[43], la robótica [44], [45] y redes de distribución eléctrica [46]–[48].

Los grandes desafíos asociados a la implementación de los SMA provienen del gran abanico de soluciones aplicables dentro de diversas disciplinas, incrementando la complejidad de las iniciativas que utilizan sus herramientas. El campo de la electromovilidad urbana presenta una serie de limitaciones

por su naturaleza que pueden ser resueltas mediante la implementación de SMA, pero también comparte los retos a los que tiene que hacer frente. El primero, está relacionado con el control de la coordinación de los agentes [49], [50], siendo la gestión del consenso de los acuerdos entre los agentes [51], [52], la controlabilidad [53], [54], sincronización [55], [56], conectividad [57], [58] y formación de grupos [59], [60] los más significativos en la literatura científica. El segundo, con la detección e insolación en la gestión de anomalías a través de métodos centralizados como subóptimos para sistemas distribuidos y de gran escala como SMA [61], [62]. El tercero, está relacionado con el proceso de aprendizaje y la implementación de algoritmos, afectando a las predicciones llevadas a través de numerosos parámetros [63], [64]. El cuarto, se encuentra vinculado a la seguridad de los sistemas cibernéticos, junto a sus características de descentralización, movilidad y sociabilidad de los agentes [65], [66]. El quinto reto vendría ligado a la geolocalización de los propios agentes, influyendo de manera significativa dependiendo de su naturaleza dinámica o estática [67], [68]. Otro desafío, el sexto, tiene su base en la forma organizativa que guardan los agentes, estableciendo un protocolo de comunicación y conexión para alcanzar una serie de objetivos establecidos [69], [70]. El último reto detectado, guarda relación con la asignación y reparto de tareas entre los agentes [71], [72].

El presente artículo se estructura en distintas secciones que pretenden dar respuesta al objetivo de revisar el estado actual de la literatura dentro de la temática de la electromovilidad urbana. Para comenzar, la sección I *introducción* presenta un abordaje literario de los sistemas multiagente que sirven como referente dentro de esta revisión sistemática. La sección II presenta la *formalización de la pregunta de investigación* que da sentido a este análisis literario a través de los objetivos. La sección III recoge los criterios establecidos en la búsqueda y selección de artículos científicos dentro de la *revisión*. Posteriormente, la sección IV recapitula la *ejecución y extracción de la información* donde se muestran los trabajos de los que se han extraído la información que vertebrará este trabajo. La sección V denominada *resultados y discusión* ilustra a través de una serie de agrupamientos trasladados a tablas y figuras, aquellos aspectos más reseñables que definen el estudio en cuestión. Para finalizar, la sección VI presenta las conclusiones más relevantes de la investigación científica desarrollada, junto a una serie de limitaciones que es necesario solventar en el futuro dentro del campo de la electromovilidad.

II. FORMALIZACIÓN DE LA PREGUNTA

En esta sección se definen los objetivos de la investigación a través del enfoque de las preguntas, junto a la calidad y amplitud de las mismas.

A. Enfoque de la Pregunta

La orientación o enfoque de las preguntas engloba soluciones basadas en sistemas multiagente dentro de la electromovilidad urbana que vertebran este proceso analítico.

B. Calidad y Amplitud de la Pregunta

Este trabajo toma como base artículos científicos en la temática de la mejora de la movilidad dentro de las ciudades a través de vehículos eléctricos. Este proceso permite discernir y sintetizar aquellas iniciativas que aportan un valor añadido dentro de las soluciones en la gestión del tráfico urbano y las redes eléctricas. El resultado esperado dentro de esta revisión sistemática es la identificación de corrientes científicas dentro del campo de la electromovilidad urbana. Las principales aportaciones de este trabajo son presentar tanto los avances, como las limitaciones que permitan configurar un escenario de la situación real del despliegue de vehículos eléctricos dentro de un contexto urbano, ayudando al desarrollo computacional y de redes eléctricas.

La pregunta de investigación que dirige este análisis es la siguiente: ¿Qué iniciativas se han llevado a cabo en la utilización de vehículos eléctricos basados en sistemas multiagente dentro de las ciudades? Las palabras clave y sinónimos de los cuales esta pregunta se compone y que se utilizarán durante la ejecución de la revisión son:

Multi-agent System: multi-agent systems, distributed system. En español: sistemas multiagente, sistemas distribuidos.

Smart City: smart cities, cities, urban context. En español: ciudades inteligentes, ciudades, contexto urbano.

Electric Vehicle: electric vehicles, electromobility, electric charging station. En español: vehículos eléctricos, electromovilidad, estaciones de carga eléctrica.

III. REVISIÓN

La revisión literaria dentro del campo científico en el que nos encontramos, debe de ser una de las grandes prioridades para poder establecer puntos de partida contrastados. Las disciplinas relacionadas con la informática o ciencias de la computación al no disponer de una metodología generalizada para el estudio de los recursos literarios disponibles, ha extrapolado métodos provenientes del mundo sanitario como son las revisiones sistemáticas. Las revisiones sistemáticas se pueden definir como una manera de evaluación e interpretación de una investigación en concreto, en una rama temática o fenómeno de interés [73]. La sucesivas actualizaciones de esta metodología sugieren tres etapas fundamentales que se han tenido en cuenta [74]: planificación de la revisión, desarrollo de la revisión y publicación de los resultados de la revisión.

Tras realizar la planificación de la revisión mediante la formalización de la pregunta, nos centramos en esta sección en el desarrollo de la revisión donde se realiza la selección de fuentes y selección de estudios.

A. Selección de Fuentes

El objetivo de esta sección es la selección y búsqueda de fuentes de estudios primarios que vertebran la presente revisión. El procedimiento de búsqueda de estudios primarios se lleva a cabo mediante el uso de motores de búsqueda web, bases de datos y fuentes físicas entre las que destacamos las siguientes: La investigación en conferencias, revistas o en publicaciones de investigación dentro de la rama de estudio.

Las fuentes esenciales en la ejecución de la revisión sistemática son: Scopus, SpringerLink, ACM Digital Library, IEEE Xplore, Google Scholar, Springer, ScienceDirect.

B. Selección de Estudios

La descripción del proceso es la etapa posterior, donde se definen los criterios para la selección y evaluación de estudios a fin de decrementar la probabilidad de sesgo. Los criterios de selección se deciden durante la definición del protocolo. Los criterios de inclusión y exclusión se deben basar en la pregunta de investigación. Por ello, los estudios deben presentar nuevas iniciativas (con una antigüedad de un máximo de 8 años), que deben tener en cuenta todas las tipologías dentro del campo de la electromovilidad urbana que emplean sistemas multiagentes dentro de la arquitectura. Aquellas soluciones que no guardan una vinculación con el objeto de estudio no han sido contempladas. La selección respecto del total de artículos y trabajos científicos, siguen un patrón de inclusión-exclusión en base a los criterios anteriormente mencionados y que dan sentido al análisis literario realizado, sintetizando y extrayendo aquella información que arroja un valor añadido real en la búsqueda de soluciones dentro de esta rama de estudio.

Para finalizar, en base al proceso de revisión planteado, se publican los resultados de la presente revisión sistemática.

IV. EJECUCIÓN Y EXTRACCIÓN DE LA INFORMACIÓN

El proceso de búsqueda se realiza con el propósito de obtener una lista inicial de la literatura existente. La herramienta de gestión bibliográfica utilizada es Mendeley para el control de las fuentes científicas. Los criterios de inclusión/exclusión previamente definidos, permiten verificar la batería de recursos literarios seleccionados. Dichos recursos son los siguientes:

- Chen, Wu & Zhang. “The Charging Characteristics of Large-Scale Electric Vehicle Group Considering Characteristics of Traffic Network”. [75]
- Taniguchi, Thompson & Qureshi. “Modelling city logistics using recent innovative technologies”. [76]
- Jordán, Palanca, del Val, Julia & Botti. “A multi-agent system for the dynamic emplacement of electric vehicle charging stations”. [77]
- Harighi, Padmanaban, Bayindir, Hossain & Holm-Nielsen. “Electric vehicle charge stations location analysis and determination—Ankara (Turkey) case study”. [78]
- Sedano, Chira, Villar & Ambel. “An intelligent route management system for electric vehicle charging”. [79]
- Paricio & Lopez-Carmona. “Urban Traffic Routing Using Weighted Multi-Map Strategies”. [80]
- Hosseini, Campbell, Favorito & Ward. “Peer-to-peer negotiation for optimising journeys of electric vehicles on a tour of Europe: Demonstration”. [81]
- Dai, Liu & Wei. “Optimal photovoltaic/battery energy storage/electric vehicle charging station design based on multi-agent particle swarm optimization algorithm”. [82]
- Jordán, Palanca, del Val, Julian & Botti. “Using Genetic Algorithms to Optimize the Location of Electric Vehicle Charging Stations”. [83]

- Hampannavar, Chavhan, Mansani & Yaragatti. “Electric Vehicle Traffic Pattern Analysis and Prediction in Aggregation Regions/Parking Lot Zones to Support V2G Operation in Smart Grid: A Cyber-Physical System Entity”. [84]
- García, Prieto-Castrillo, González & Bajo. “Electric vehicle urban exploration by anti-pheromone swarm based algorithms”. [85]
- De La Iglesia, González, Mendes, Jiménez-Bravo & Barriuso. “Architecture to embed software agents in resource constrained internet of things devices”. [86]
- Jordán, Palanca, del Val, Julian & Botti. “Masev: A mas for the analysis of electric vehicle charging stations location”. [87]
- Piao, Ai, & Fan. “Game theoretic based pricing strategy for electric vehicle charging stations”. [88]
- García-Magariño, Palacios-Navarro, Lacuesta & Lloret. “ABSCEV: An agent-based simulation framework about smart transportation for reducing waiting times in charging electric vehicles”. [89]
- Morro-Mello, Padilha-Feltrin & Melo. “Spatial-Temporal model to estimate the load curves of charging stations for electric vehicles”. [90]
- Hariri, Esfahani & Mohammed. “A Cognitive Price-Based Approach for Real-time Management of En-route Electric Vehicles”. [91]
- García-Magariño, Gray, Muttukrishnan & Asif. “Agent-based IoT Coordination for Smart Cities Considering Security and Privacy”. [92]
- Melo, Carreno, & Padilha-Feltrin. “Spatial-temporal simulation to estimate the load demand of battery electric vehicles charging in small residential areas”. [93]
- Zhuge & Shao. “Agent-Based Modelling of Locating Public Transport Facilities for Conventional and Electric Vehicles”. [94]
- Montori, Borghetti & Napolitano. “A co-simulation platform for the analysis of the impact of electromobility scenarios on the urban distribution network”. [95]
- Inokuchi & Akiyama, “Development of multi-agent simulator for the district-based smart city”. [96]
- Liu, Yang, Wang, Chai & Xu. “Electric Vehicle Charging and Batteries Swapping Management Strategy with Photovoltaic Generation in Business Districts”. [97]
- Lom & Pribyl. “Smart city model based on systems theory”. [98]
- Mu, Wu, Jenkins, Jia & Wang, “A Spatial-Temporal model for grid impact analysis of plug-in electric vehicles”. [99]
- Melo, Carreno & Padilha-Feltrin. “A multi-agent system with a percolation approach to simulate the driving pattern of plug-in electric vehicles”. [100]

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A través de un gráfico de sectores (Fig. 1) se expone de forma relativa un análisis donde se ilustra una comparación porcentual de soluciones por ámbito de mejora de los 26 artículos contemplados. Esto permite obtener de una forma visual un análisis cuantitativo de la orientación de las propuestas

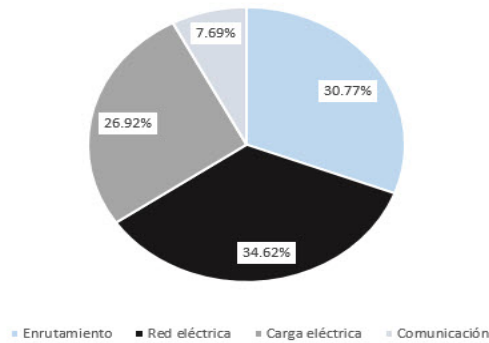


Fig. 1. Comparación porcentual de soluciones por ámbito de mejora

analizadas en este trabajo. La gestión de los problemas de la red eléctrica (34.62%) es el principal ámbito de estudio dentro de la electromovilidad urbana. El impacto de la distribución de la carga eléctrica a lo largo de las ciudades, repercute en la disposición y gestión de los puntos de carga eléctrica urbana.

Los problemas de enrutamiento (30.77%) es otro de los principales campos de estudio dentro de la electromovilidad urbana. La existencia de problemas tanto de tráfico, como de infraestructuras urbanas que dificultan la optimización de las rutas más cortas es una problemática con gran impacto.

Las soluciones que se enfrentan a la problemática de la gestión de los puntos de carga suponen algo más de un cuarto de los artículos analizados (26.92%). Las principales mejoras vienen asociadas a la gestión de las solicitudes de carga de los vehículos eléctricos, así como la disponibilidad de plazas libres que pudieran afectar a la toma de decisiones por parte de los conductores.

Las iniciativas relacionadas con la comunicación entre servicios es el ámbito donde se observa un menor enfoque por parte de los autores (7.69%). Las iniciativas dentro de esta tipología vienen ligadas a la optimización en la gestión de los recursos o infraestructura de telecomunicación, ayudando a mejorar la calidad y rapidez de respuesta no solo con los puntos de carga, sino también con la interacción con otros vehículos o actores dentro de este campo.

Mediante un gráfico de barras verticales (Fig. 2) titulado *artículos publicados por año y ámbito de mejora* se recorre cronológicamente, con una granularidad anual, el número de publicaciones totales y por área de mejora, según el propósito de la solución planteada. En el año 2012 se publicó un artículo centrado en los problemas de red eléctrica. Al año siguiente, en el 2013, también se aprecia que una única publicación fue divulgada pero en este caso sobre el problema de enrutamiento. El año 2014 sufre un incremento hasta alcanzar la cifra de 3 trabajos científicos, donde 2 ofrecían iniciativas dentro del ámbito de la red eléctrica y el otro más orientado al proceso de carga eléctrica por parte de los vehículos eléctricos. Los años 2015 y 2016 tienen valores idénticos con un único artículo sobre el ámbito de mejora de la red eléctrica. El 2017 presenta dos publicaciones aplicadas a dos temáticas distintas como son los problemas de enrutamiento y de red eléctrica. 2018 marca un punto de inflexión en lo que se refiere al

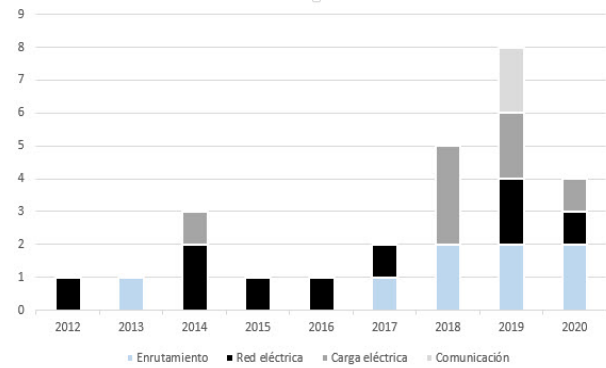


Fig. 2. Artículos publicados por año y ámbito de mejora

estudio de los temas relacionados con los vehículos eléctricos y los sistemas multiagente, con un total de 5 publicaciones científicas, repartiéndose entre los ámbitos del enrutamiento (2) y la carga eléctrica (3). El año 2019 marca un máximo de 8 artículos que vieron la luz, donde se observa la heterogeneidad de las temáticas con unos valores similares, es decir, 2 artículos por cada tipología como son el enrutamiento, red eléctrica, carga eléctrica y comunicación. El año 2020, aún sin finalizar, sigue la tendencia alcista con 4 nuevos trabajos científicos con el enrutamiento (3), red eléctrica (1) y carga eléctrica (1) como campos de estudio.

La Tabla I aglutina todos los estudios dentro de un *resumen de cantidad de estudios por ámbito de mejora*. Dentro de esta tabla se establece una clasificación cuantitativa según la orientación o campo de aplicación de las soluciones. Estas áreas son fácilmente reconocibles como son el enrutamiento, carga eléctrica, red eléctrica y la comunicación entre los actores. La tabla ilustra las problemáticas donde más estudios se han centrado como es la carga eléctrica con 9 publicaciones. El siguiente dilema está vinculado a la optimización del enrutamiento en base a diversos factores que influyen en ese proceso de toma de decisiones (8). Otro de los problemas más reseñables se encuentra en la gestión de la red eléctrica (7), donde la planificación y el desarrollo de infraestructuras que puedan soportar las necesidades en la demanda de recursos eléctricos en cualquier escenario. Los sistemas y protocolos de comunicación (2) es la última de las orientaciones de las soluciones de los artículos analizados, exponiendo herramientas que puedan ayudar a mejorar la conexión V2X o vehículo con todo y que es la base de la comunicación 5G.

La Tabla II expone un *resumen de contribuciones* donde se define el propósito del estudio, junto a las aportaciones más reseñables, siendo clasificados según un patrón detectado dentro del análisis de los diferentes recursos literarios. Este patrón se compone de los siguientes elementos identificativos dentro de toda la revisión sistemática como son propósito u objetivo general del estudio, estándares o nomenclaturas propuestas, factores claves tomados en cuenta, recursos tecnológicos empleados y el área geográfica del caso real donde se han llevado a cabo las validaciones. Todos estos campos ayudan conformar esta tabla que sintetiza las contribuciones.

Table I
RESUMEN DE CANTIDAD DE ESTUDIOS POR ÁMBITO DE MEJORA

Problemática a resolver	# de estudios	Solución planteada
Enrutamiento	8	[75], [76], [79], [80], [81], [85], [91], [94]
Carga eléctrica	9	[78], [82], [84], [88], [90], [93], [95], [99], [100]
Red eléctrica	7	[77], [83], [87], [89], [96], [97], [98]
Comunicación	2	[86], [92]

Table II
RESUMEN DE CONTRIBUCIONES

Estudio	Propósito del estudio	Estándares propuestos	Factores claves	Recursos tecnológicos	Caso real
Cheng et al. [75]	Cuantificar impacto de las características topológicas de la red de tráfico con grupos de carga a gran escala	Sistema adaptativo complejo	Coefficiente de agrupación medio	JADE, OpenStreetMap	Guangzhou (China)
Taniguchi et al. [76]	Mejora de la movilidad logística urbana	Redes de sensores y modelos de demanda	Costo-beneficio social, logística colaborativa, consignas, optimización del enrutamiento	IoT	
Jordan et al. [77]	Optimizar la localización de estaciones de carga urbana	Algoritmo genético	Población, tráfico, redes sociales, tiempo promedio en puntos de interés	Librería Deap, EOA	Valencia (España)
Harighi et al. [78]	Optimizar suministro eléctrico en estaciones de carga	Algoritmo genético	Condición de los transformadores, presupuesto, infraestructura eléctrica, mantenimiento	MATLAB, SCADA	Ankara (Turquía)
Sedano et al. [79]	Optimizar toma de decisiones en el enrutamiento	Sistema CBR, algoritmos de soporte	Estado del tráfico, e información energética	Google Maps API	Burgos (España)
Paricio y Lopez-Carmona [80]	Optimizar toma de decisiones en el enrutamiento	Simulaciones microscópicas algoritmos de soporte, Modelo TWM	Congestión, tiempo de viaje, y duración de la ruta	Sistema RGS, simulador SUMO	Alcalá de Henares (España)
Hosseini et al. [81]	Optimizar toma de decisiones en la elección del punto de carga	Modelo automatizado de negociación o negocio peer-to-peer	Duración original estimada (OED), número de vehículos, tiempo de carga, y tiempo de desvío	MAS/Blockchain	Lyon (Francia)/ Stuttgart (Alemania)
Dai et al. [82]	Optimizar uso energético en la carga eléctrica	Modelo de optimización para el almacenamiento fotovoltaico, algoritmo MAPSO, mecanismo PSO	Estaciones de carga, almacenamiento de energía en las baterías, e instalación fotovoltaica	Paneles solares	Shanghai (China)
Jordán et al. [83]	Optimizar la localización de estaciones de carga urbana	Algoritmo genético	Tráfico, redes sociales, población, etc.	Plataforma SPADE	Valencia (España)
Hampannavar et al. [84]	Analizar patrones de tráfico, predicción y utilización de recursos eléctricos	Modelo matemático, sistema MAC	Tráfico, utilización de recursos, puntos de carga	Sistemas ciberfísicos	
García et al. [85]	Optimizar problema de enrutamiento	Algoritmos basados en enjambres de antiferomonas (APH)	Complejidad mapas urbanos, rutas, bicicleta eléctrica y tiempos de llegada	Arquitectura PANGEA, enjambres de robots	Madrid / Barcelona / Gijón / Castellón (España)
DeLaIglesia et al. [86]	Optimizar sistema de información en sistemas embebidos basados en Internet de las Cosas	Modelos basados en Internet de las cosas (IoT): Objetos inteligentes (SOs) y entornos inteligentes (SEs)	Complejidad de datos, rutas, baterías eléctricas y bicicleta eléctrica	IoT, Arduino, módulos ESP8266 y ESP32	Salamanca (España)

La primera contribución clave es el propósito del estudio donde se definen aquellos objetivos generales de las investi-

gaciones y que sirve para realizar una discriminación sobre el ámbito de mejora, donde las estrategias de optimización, es-

Estudio	Propósito del estudio	Estándares propuestos	Factores claves	Recursos tecnológicos	Caso real
Jordán <i>et al.</i> [87]	Optimizar la localización de estaciones de carga urbana	Algoritmo genético	Tráfico, redes sociales, población, información eléctrica y bicicleta eléctrica	Portal Open Data, Emplacement Optimizer Agent (EOA)	Valencia (España)
Piao <i>et al.</i> [88]	Gestión de control de la carga eléctrica urbana	Modelaje sobre satisfacción del cliente, Teoría de juegos no cooperativos	Ubicación, precios, redes inteligentes, estaciones de carga, etc.	Centro de monitorización	Shanghai (China)
García-Magariño <i>et al.</i> [89]	Reducción de los tiempos de espera en la carga eléctrica	Modelo ABSCEV, algoritmo A*	Tiempo de carga, sistema de reservas, estaciones de carga, etc.	VANET, Simulador ABS	Madrid / Zaragoza (España)
Morro-Mello <i>et al.</i> [90]	Optimizar localización de los puntos de carga eléctrico	Modelo espacio-temporal	Alimentador, pico de demanda, patrones de conducción.	Sistema de información geográfica ArcGIS	Ciudad-media (Brasil)
Hariri <i>et al.</i> [91]	Optimización de la carga y distribución energética urbana	Algoritmo cognitivo	Precios, consumo eléctricos.	Bloques virtuales	Miami (EE.UU.)
García-Magariño <i>et al.</i> [92]	Optimizar las comunicaciones a gran escala de IoT en servicios integrados	Pizarras distribuidas	Comunicaciones de redes peer-to-peer, privacidad y seguridad.	Internet de las Cosas (IoT), Plataformas AAL	Dublín (Irlanda)
Melo <i>et al.</i> [93]	Establecer un marco que pueda funcionar con cualquier tecnología y carga eléctrica	Enfoque de percolación	Patrones de conducción, áreas residenciales, autonomía de baterías.	MATLAB	Ciudad-media (Brasil)
Zhuge y Shao [94]	Optimización de la toma de decisiones a los puntos de carga	Modelo SelfSim, análisis de sensibilidad global y local	Demanda, localización, situación de parkings, tiempos, tráfico.	Simulador MATSim-EV	Baoding (China)
Montori <i>et al.</i> [95]	Optimizar la planificación de las redes eléctrica para la electromovilidad	Sistema de co-simulación, modelos de tráfico, modelos de carga eléctrica	Localización, tráfico, red de distribución eléctrica.	Simulador de tráfico SUMO, simulador de red eléctrica EMTP	Bolonia (Italia)
Inokuchi y Akiyama [96]	Configuración de una red de transporte inteligente	Sistema de gestión energética (BEMS)	Estaciones de carga, precios, tráfico.	Sistema de gestión de energía BEMS	Kobe (Japón)
Liu <i>et al.</i> [97]	Optimizar la gestión de intercambio de carga y baterías de vehículos eléctricos con generación fotovoltaica en distritos comerciales	Modelo de coordinación del modo de carga de EV o de intercambio de batería, generación fotovoltaica	Tipologías de carga eléctrica, configuraciones de distritos financieros, localización y situación de parking, tráfico.	Sistema de suboptimización basada en programación de enteros mixtos de SCCC	Ciudad-media (China)
Lom <i>et al.</i> [98]	Reducción de los tiempos de espera en la carga eléctrica	Modelo de comportamientos dinámicos, sistemas ciberfísicos	Tiempo de carga, sistema de reservas, estaciones de carga, etc.	Sistemas ciberfísicos	Praga (República Checa)
Mu <i>et al.</i> [99]	Evaluación del impacto del despliegue a gran escala de vehículos eléctricos en una red de distribución urbana	Modelo STM, modelo de simulación Monte Carlo, multi-estrategia: tipo de carga "inteligente" y "tonta"	Valores promedio y probabilidades de voltajes, componentes críticos dentro de la red de distribución.	GIS, ITS, GPS	Ciudad-grande (Reino Unido)
Melo <i>et al.</i> [100]	Optimizar la red de distribución eléctrica a través de un marco estandarizado de los patrones de conducción	Enfoque de percolación, modelajes para patrones de conducción	Base de datos sobre patrones en la conducción, autonomía y estado de la batería, tráfico.	MATLAB	Ciudad-media (Brasil)

tandarización y configuración centran los objetivos definidos. La siguiente columna de la tabla aglutina aquellas aportaciones singulares y específicas dentro de las distintas soluciones en forma de estándares, donde encontramos los algoritmos, modelos, sistemas, simulaciones o enfoques. Realizando un comparativa entre los estándares extraídos, se observan 10 artículos que utilizan los algoritmos de diversa naturaleza como son los genéticos, de soporte, A*, de enjambres o

cognitivos como los más utilizados. El empleo de los algoritmos dentro de las soluciones viene vinculado al ámbito de gestión eléctrica y carga eléctrica en mayor medida. Otro estándar fácilmente identificable es el empleo del modelaje o modelos que supone un componente en más de un 50% de las publicaciones (15), siendo los modelos espacio-temporales, modelos matemáticos o modelos basados en el internet de las cosas unos de los ejemplos implementados. Otras de tipologías

detectadas dentro de la batería de recursos científicos (9) están relacionados con el empleo de sistemas de diversa naturaleza, ayudando a configurar arquitecturas que den respuesta a las limitaciones dentro del mundo de la electromovilidad, y entre ellos se han detectado los sistemas de gestión energética, sistemas de razonamiento basado en casos (CBR) o sistemas adaptativos complejos que muestran ejemplos específicos implementados. Las simulaciones propuestas están vinculadas al desarrollo de un método específico como solución, siendo el objetivo principal en 2 artículos. Además, se han localizado enfoques o patrones teóricos que desarrollan una visión del uso de sistemas multiagente dentro del mundo de los vehículos eléctricos, siendo tomados como base en las iniciativas presentadas

El siguiente elemento clave expuesto guarda relación con aquellas variables o factores que se han tenido en cuenta a la hora no solo para ayudar a plantear la hipótesis, sino también a la hora de implementar las soluciones en un entorno real y que puedan estar relacionadas con el control de tráfico, tiempos de carga, patrones de conducción, localización de los puntos de carga como ejemplos más claros.

Los recursos tecnológicos empleados como base para el desarrollo de las investigaciones muestra aquellas librerías, softwares, plataformas, arquitecturas o simuladores que se han utilizado durante el proceso de elaboración de los estudios entre los que encontramos MATLAB, SCADA, Blockchain, Open StreetMap o estándares internacionales como GPS o GIS.

Los casos reales donde se han realizado las validaciones es otra de las aportaciones que se pueden encontrar dentro de la batería de recursos científicos analizados y que en su mayoría han sido realizados en España, China y Brasil.

Esta sección ha permitido poder establecer una comparativa sobre las aportaciones tanto cuantitativa, como cualitativa.

VI. CONCLUSIONES

El empleo de sistemas multiagente como base para problemas de movilidad en un entorno urbano, provee de herramientas de comprensión y descripción sobre los factores claves que envuelven la complejidad de las problemáticas existentes.

La aplicabilidad del sistema multiagente dentro del campo de la electromovilidad viene asociada a las necesidades en la búsqueda de soluciones dentro la amalgama de limitaciones dentro de este sector. Estas limitaciones ayudan a establecer unos criterios de aceptación, dando lugar a ciertos problemas cuando no se cumplen dichos criterios y conocidos como tipologías problemáticas dentro del ámbito de los vehículos eléctricos: Enrutamiento de vehículos eléctricos, localización y gestión de puntos de carga eléctrica, gestión de red eléctrica y comunicación.

La revisión sistemática nos ayuda a comprender el campo de la electromovilidad urbana, junto a las diferentes casuísticas que conforman la realidad dentro del mundo de los vehículos eléctricos. Los 26 estudios seleccionados están agrupados por criterios en base al ámbito de mejora donde se efectúa la implementación de la soluciones planteadas por lo autores. Esto ha permitido obtener 8 artículos enfocados en el enrutamiento, 9 en la red eléctrica, 7 en el proceso de

carga eléctrica y 2 relacionados con las comunicaciones entre actores. Todo ello, permite determinar el objetivo de la mejora de los procesos en la toma de decisiones y proceso de carga eléctrica dentro de las ciudades.

El creciente auge de la investigación en el campo de la electromovilidad urbana ha permitido el desarrollo de algoritmos como son los genéticos, para la gestión de la carga eléctrica, y red eléctrica, junto a los cognitivos, para los problemas asociados con el enrutamiento, que son los más empleados dentro de las investigaciones previamente analizadas. También, el desarrollo de sistemas específicos para la optimización tanto de las solicitudes y gestión de los puntos de carga, como en el enrutamiento está presente de forma genérica dentro de los recursos científicos. Los casos reales donde se han probado el enfoque teórico de los modelos planteados, arrojan cierta heterogeneidad en relación al lugar de dicho experimento o puesta en práctica.

Los resultados arrojados en líneas generales permiten observar como el empleo de algoritmos y modelos es el pilar fundamental a la hora de desarrollar soluciones dentro de una arquitectura basada en sistemas multiagente dentro del campo de la electromovilidad, junto a la implementación de sistemas de comunicación novedosas como el 5G.

La contribución de este análisis científico proporciona a los investigadores de una manera exhaustiva e imparcial, una síntesis sobre el estado actual en las investigaciones llevadas a cabo dentro del campo de la electromovilidad urbana y sus sinergias con los sistemas multiagente.

El presente trabajo abre un amplio abanico de futuros trabajos vinculados al empleo de las soluciones de los sistemas multiagente dentro del sector de los vehículos eléctricos.

Las limitaciones relacionadas con la seguridad de los sistemas multiagente y su influencia en los distintos ámbitos de mejora anteriormente definidos, son necesarios de abordar.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigación Aplicada Vicomtech y la Universidad Internacional de la Rioja (UNIR) por el apoyo otorgado.

REFERENCES

- [1] A. Dorri, S. S. Kanhere, and R. Jurdak, "Multi-Agent Systems: A Survey," *IEEE Access*, vol. 6, no. May, pp. 28 573–28 593, 2018.
- [2] S. Shamshirband, N. B. Anuar, M. L. M. Kiah, and A. Patel, "An appraisal and design of a multi-agent system based cooperative wireless intrusion detection computational intelligence technique," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 26, pp. 2105–2127, 2013.
- [3] T. Jorquera, J. Georgé, and C. Régis, "An adaptive multi-agent system for integrative multidisciplinary design optimization," in *2012 IEEE Sixth International Conference on Self-Adaptive and Self-Organizing Systems*, 2012, pp. 223–224.
- [4] B. Parasumanna Gokulan and D. Srinivasan, *An Introduction to Multi-Agent Systems*, 07 2010, vol. 310, pp. 1–27.
- [5] A. Zou, K. Kumar, and Z.-G. Hou, "Distributed consensus control for multi-agent systems using terminal sliding mode and chebyshev neural networks," *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, vol. 23, pp. 334–357, 02 2013.
- [6] D. Helbing and S. Balietti, *Social Self-Organization: Agent-Based Simulations and Experiments to Study Emergent Social Behavior*, 02 2012, pp. 25–70.
- [7] A. Sadeghi, C. Wachsmann, and M. Waidner, "Security and privacy challenges in industrial internet of things," pp. 1–6, 2015.

- [8] Y. Zhao, G. Wen, Z. Duan, X. Xu, and G. Chen, "A new observer-type consensus protocol for linear multi-agent dynamical systems," *Asian Journal of Control*, vol. 15, no. 2, pp. 571–582, 3 2013.
- [9] Q. Song, F. Liu, H. Su, and A. Vasilakos, "Semi-global and global containment control of multi-agent systems with second-order dynamics and input saturation," *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, vol. 26, pp. n/a–n/a, 02 2016.
- [10] A. Stefanovski and P. Bock, "Team-based Learning and Leadership Effect in Multi-agent System of Mixed Personalities," *Procedia Computer Science*, vol. 20, pp. 177–182, 2013.
- [11] L. Zhang and M. Chen, "Event-based global stabilization of linear systems via a saturated linear controller," *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, vol. 26, 05 2015.
- [12] Z. Zhao, "Global leader following consensus of a group of discrete-time linear systems using bounded controls," *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, vol. 19, pp. 263–268, 08 2014.
- [13] Z. Zhang and X.-J. Xie, "Asymptotic tracking control of uncertain nonlinear systems with unknown actuator nonlinearity and unknown gain signs," *International Journal of Control*, vol. 87, 11 2014.
- [14] W. Yu, G. Chen, M. Cao, and J. Kurths, "Second-order consensus for multiagent systems with directed topologies and nonlinear dynamics," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, vol. 40, no. 3, pp. 881–891, 2010.
- [15] M. E. Valcher and I. Zorzan, "On the consensus of homogeneous multi-agent systems with arbitrarily switching topology," *Automatica*, vol. 84, pp. 79–85, 2017.
- [16] G. R. de Campos, L. Briñón-Arranz, A. Seuret, and S.-I. Niculescu, "On the Consensus of Heterogeneous Multi-Agent Systems: a Decoupling Approach," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 45, no. 26, pp. 246–251, 2012.
- [17] X. Shi, R. Zheng, Z. Lin, and G. Yan, "Consensus of first-order multi-agent systems under event-triggered communication," 06 2018, pp. 4679–4683.
- [18] D. Xie, S. Xu, Z. Li, and Y. Zou, "Event-triggered consensus control for second-order multi-agent systems," *Control Theory and Applications, IET*, vol. 9, pp. 667–680, 03 2015.
- [19] W. Ren, K. Moore, and Y. Chen, "High-order consensus algorithms in cooperative vehicle systems," 01 2006, pp. 457 – 462.
- [20] J. Hu, Y. Wu, and Y. Zhao, "Consensus Control of High-Order Multi-Agent Systems with Antagonistic Interactions and Measurement Noises**This work was supported in part by the National Natural Science Foundation of China under Grants 61473061, 71503206, 61104104, and the Program for New Century Excellent Talents in University under Grant NCT-13-0091," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, no. 1, pp. 2482–2487, 2017.
- [21] W. Ni and D. Cheng, "Leader-following consensus of multi-agent systems under fixed and switching topologies," *Systems and Control Letters*, vol. 59, pp. 209–217, 03 2010.
- [22] Y. Cao, T. Oguchi, P. Verhoeckx, and H. Nijmeijer, "Consensus control for a multiagent system with time delays," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2017, 02 2017.
- [23] Y. Chen, J. Lu, X. Yu, and D. Hill, "Multi-agent systems with dynamical topologies: Consensus and applications," *Circuits and Systems Magazine, IEEE*, vol. 13, pp. 21–34, 01 2013.
- [24] Z. Li, Z. Duan, and G. Chen, "Dynamic consensus of linear multi-agent systems," *Control Theory and Applications, IET*, vol. 5, pp. 19 – 28, 02 2011.
- [25] D. Leng, K. Soontornrattanasub, and S. Polmai, "Multi-agent system based real-time control for standalone microgrid," 08 2017, pp. 122–127.
- [26] X. Yi, J. Wei, D. V. Dimarogonas, and K. H. Johansson, "Formation Control for Multi-Agent Systems with Connectivity Preservation and Event-Triggered Controllers**This work was supported by the Knut and Alice Wallenberg Foundation, the Swedish Foundation for Strategic Research, and the Swedish Research Council." *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, no. 1, pp. 9367–9373, 2017.
- [27] P. Di Bitonto, M. Laterza, T. Roselli, and V. Rossano, "An evaluation method for multi-agent systems," vol. 6070, 06 2010, pp. 32–41.
- [28] M. I. Garcia Planas, "Multi-agent linear dynamical systems, analyzing the consensus problem," pp. 36–41, 02 2015.
- [29] J. Bajo, F. De La Prieta, J. Corchado Rodríguez, and S. Rodríguez, "A low-level resource allocation in an agent-based cloud computing platform," *Applied Soft Computing*, vol. 48, 08 2016.
- [30] F. Hou and X. Mao, "Cross-clouds services autonomic management approach based on self-organizing multi-agent technology," *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, vol. 28, 08 2016.
- [31] A. Singh, D. Juneja, and M. Malhotra, "Autonomous agent based load balancing algorithm in cloud computing," *Procedia Computer Science*, vol. 45, 03 2015.
- [32] J. Granatyr, V. Botelho, O. R. Lessing, E. E. Scalabrin, J.-P. Barthès, and F. Enembreck, "Trust and reputation models for multiagent systems," *ACM Comput. Surv.*, vol. 48, no. 2, Oct. 2015.
- [33] M. Gatti de Bayser, P. Cavalin, S. Neto, C. Pinhanez, C. Dos Santos, D. Gribel, and A. Appel, "Large-scale multi-agent-based modeling and simulation of microblogging-based online social network," vol. 8235, pp. 17–33, 04 2014.
- [34] E. Franchi and A. Poggi, *Multi-Agent Systems and Social Networks*, 01 2011.
- [35] Y. Hedin and E. Moradian, "Security in multi-agent systems," *Procedia Computer Science*, vol. 60, pp. 1604–1612, 12 2015.
- [36] S. Sarika and V. Paul, "Agenttab: An agent based approach to detect tabnabbing attack," *Procedia Computer Science*, vol. 46, pp. 574–581, 12 2015.
- [37] L. Mechtri, F. Djemili Tolba, and S. Ghanemi, "Masid: Multi-agent system for intrusion detection in manet," 04 2012.
- [38] G. Daugherty, S. Reveliotis, and G. Mohler, "Optimized multi-agent routing in guidepath networks," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, pp. 9686–9693, 07 2017.
- [39] M. Bendjima and M. Feham, "Multi-agent system for a reliable routing in wsn," 07 2015, pp. 1412–1419.
- [40] R. Claes, T. Holvoet, and D. Weyns, "A decentralized approach for anticipatory vehicle routing using delegate multiagent systems," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 12, pp. 364–373, 06 2011.
- [41] K. Hager, J. Rauh, and W. Rid, "Agent-based modeling of traffic behavior in growing metropolitan areas," *Transportation Research Procedia*, vol. 10, pp. 306–315, 09 2015.
- [42] M. Roscia, M. Longo, and G. C. Lazaroiu, "Smart city by multi-agent systems," *2013 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, pp. 371–376, 2013.
- [43] M. Longo, M. Roscia, and G. C. Lazaroiu, "Innovating multi-agent systems applied to smart city," *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, vol. 7, pp. 4296–4302, 05 2014.
- [44] A. Jimenez, V. García Díaz, and S. Bolaños, "A decentralized framework for multi-agent robotic systems," *Sensors*, vol. 18, p. 417, 02 2018.
- [45] D. Ledzinski, T. Marciniak, M. Maszewski, and D. Boroński, "Robot actions planning algorithms in multi-agent system," *Solid State Phenomena*, vol. 223, pp. 221–230, 01 2015.
- [46] G. H. Merabet, M. Essaïdi, H. Talei, M. R. Abid, N. Khalil, M. Madkour, and D. Benhaddou, "Applications of multi-agent systems in smart grids: A survey," in *2014 International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS)*, 2014, pp. 1088–1094.
- [47] R. Roche, F. Lauri, B. Blunier, A. Miraoui, and A. Koukam, *Multi-Agent Technology for Power System Control*, 06 2013, vol. 59.
- [48] M. H. Amini, B. Nabi, and M. Haghifam, "Load management using multi-agent systems in smart distribution network," in *2013 IEEE Power Energy Society General Meeting*, 2013, pp. 1–5.
- [49] L. Ma, H. Min, S. Wang, and Y. Liu, "An overview of research in distributed attitude coordination control," *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, vol. 2, pp. 121–133, 04 2015.
- [50] B. Liu, H. Su, R. Li, D. Sun, and W. Hu, "Switching controllability of discrete-time multi-agent systems with multiple leaders and time-delays," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 228, pp. 571–588, 02 2014.
- [51] G. Miao and Q. Ma, "Group consensus of the first-order multi-agent systems with nonlinear input constraints," *Neurocomputing*, vol. 161, pp. 113 – 119, 2015.
- [52] C. Gutierrez, "Analysis of bullying in cooperative multi-agent systems' communications," *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, vol. 2, no. Regular Issue, 2013.
- [53] Y. Guan and L. Wang, "Controllability of multi-agent systems with directed and weighted signed networks," *Systems & Control Letters*, vol. 116, pp. 47–55, 2018.
- [54] B. Liu, H. Su, R. Li, D. Sun, and W. Hu, "Switching controllability of discrete-time multi-agent systems with multiple leaders and time-delays," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 228, pp. 571–588, 02 2014.
- [55] D. U. Patil and S. Datta, "Synchronization of multi-agent systems with distributed reduced norm state feedback control," in *2019 Fifth Indian Control Conference (ICC)*, 2019, pp. 95–100.

- [56] S. Khodaverdian, "On the synchronization of linear heterogeneous multi-agent systems in cycle-free communication networks," in *Proceedings of 2014 International Conference on Modelling, Identification Control*, 2014, pp. 190–195.
- [57] S. Su, Z. Lin, and A. Garcia, "Distributed synchronization control of multiagent systems with unknown nonlinearities," *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. 46, no. 1, pp. 325–338, 2016.
- [58] J. Dai, S. Zhu, C. Chen, and X. Guan, "Connectivity-Preserving Consensus Algorithms for Multi-agent Systems," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 44, no. 1, pp. 5675–5680, 2011.
- [59] D. Li, S. S. Ge, W. He, G. Ma, and L. Xie, "Multilayer formation control of multi-agent systems," *Automatica*, vol. 109, p. 108558, 2019.
- [60] Z. Lin, L. Wang, Z. Han, and M. Fu, "Distributed formation control of multi-agent systems using complex laplacian," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 59, no. 7, pp. 1765–1777, 2014.
- [61] X. Liu, X. Gao, and J. Han, "Observer-based fault detection for high-order nonlinear multi-agent systems," *Journal of the Franklin Institute*, vol. 353, 11 2015.
- [62] M. Davoodi, K. Khorasani, H. Talebi, and H. Momeni, "Distributed fault detection and isolation filter design for a network of heterogeneous multiagent systems," *Control Systems Technology, IEEE Transactions on*, vol. 22, pp. 1061–1069, 05 2014.
- [63] P. Hernandez-Leal, B. Kartal, and M. Taylor, "A survey and critique of multiagent deep reinforcement learning," *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, vol. 33, 10 2019.
- [64] C. Giuffra and R. Silveria, "A multi-agent system model to integrate virtual learning environments and intelligent tutoring systems," *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, vol. 2, no. Special Issue on Artificial Intelligence and Social Application, 2013.
- [65] R. Cavalcante, I. Bittencourt, A. Silva, M. Silva, E. Costa, and R. Santos, "A survey of security in multi-agent systems," *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, pp. 4835–4846, 04 2012.
- [66] H. Rashvand, K. Salah, J. Alcaraz Calero, and L. Harn, "Distributed security for multi-agent systems-review and applications," *Information Security, IET*, vol. 4, pp. 188 – 201, 01 2011.
- [67] G. Chai, C. Lin, Z. Lin, and M. Fu, "Single landmark based collaborative multi-agent localization with time-varying range measurements and information sharing," *Systems & Control Letters*, vol. 87, pp. 56–63, 2016.
- [68] C. Lin, Z. Lin, R. Zheng, and G. Yan, "Distributed source localization of multi-agent systems with bearing angle measurements," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 61, 07 2015.
- [69] A. Esmaili, N. Mozayani, M. Motlagh, and E. Matson, "The impact of diversity on performance of holonic multi-agent systems," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 55, pp. 186–201, 07 2016.
- [70] M. Fallah, R. Malhame, and F. Martinelli, "Distributed estimation and control for large population stochastic multi-agent systems with coupling in the measurements," 07 2013, pp. 4353–4358.
- [71] V. Singhal and D. Dahiya, "Distributed task allocation in dynamic multi-agent system," in *International Conference on Computing, Communication Automation*, 2015, pp. 643–648.
- [72] D. Santos and A. Bazzan, "Distributed clustering for group formation and task allocation in multiagent systems: A swarm intelligence approach," *Applied Soft Computing*, vol. 12, p. 2123–2131, 08 2012.
- [73] B. A. Kitchenham, "Systematic reviews," pp. xii–xii, 2004.
- [74] B. A. Kitchenham and S. Charters, "Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering," vol. 2, 01 2007.
- [75] C. Chen, Z. Wu, and Y. Zhang, "The Charging Characteristics of Large-Scale Electric Vehicle Group Considering Characteristics of Traffic Network," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 32 542–32 550, 2020.
- [76] E. Taniguchi, R. G. Thompson, and A. G. Qureshi, "Modelling city logistics using recent innovative technologies," *Transportation Research Procedia*, vol. 46, no. 2019, pp. 3–12, 2020.
- [77] J. Jordán, J. Palanca, E. del Val, V. Julian, and V. Botti, "A multi-agent system for the dynamic emplacement of electric vehicle charging stations," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 8, no. 2, 2018.
- [78] T. Harighi, S. Padmanaban, R. Bayindir, E. Hossain, and J. B. Holm-Nielsen, "Electric vehicle charge stations location analysis and determination—Ankara (Turkey) case study," *Energies*, vol. 12, no. 18, 2019.
- [79] J. Sedano, C. Chira, J. R. Villar, and E. M. Ambel, "An intelligent route management system for electric vehicle charging," *Integrated Computer-Aided Engineering*, vol. 20, no. 4, pp. 321–333, 2013.
- [80] A. Paricio and M. A. Lopez-Carmona, "Urban Traffic Routing Using Weighted Multi-Map Strategies," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 153 086–153 101, 2019.
- [81] S. A. Hosseini, D. Campbell, M. Favorito, and J. Ward, "Peer-to-peer negotiation for optimising journeys of electric vehicles on a tour of Europe: Demonstration," *Proceedings of the International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS*, vol. 4, no. Aamas, pp. 2360–2362, 2019.
- [82] Q. Dai, J. Liu, and Q. Wei, "Optimal photovoltaic/battery energy storage/electric vehicle charging station design based onmulti-agent particle swarm optimization algorithm," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, no. 7, 2019.
- [83] J. Jordán, J. Palanca, E. del Val, V. Julian, and V. Botti, "Using genetic algorithms to optimize the location of electric vehicle charging stations," *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 771, pp. 11–20, 2019.
- [84] S. Hampannavar, S. Chavhan, S. Mansani, and U. R. Yaragatti, "Electric Vehicle Traffic Pattern Analysis and Prediction in Aggregation Regions/Parking Lot Zones to Support V2G Operation in Smart Grid: A Cyber-Physical System Entity," *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, vol. 21, no. 1, 2020.
- [85] R. M. García, F. Prieto-Castrillo, G. V. González, and J. Bajo, "Electric vehicle urban exploration by anti-pheromone swarm based algorithms," *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 10349 LNCS, no. June, pp. 333–336, 2017.
- [86] D. H. De La Iglesia, G. V. González, A. S. Mendes, D. M. Jiménez-Bravo, and A. L. Barriuso, "Architecture to embed software agents in resource constrained internet of things devices," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 1, 2019.
- [87] J. Jordán, J. Palanca, E. del Val, V. Julian, and V. Botti, "Masev: A mas for the analysis of electric vehicle charging stations location," *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 10978 LNAI, pp. 326–330, 2018.
- [88] L. Piao, Q. Ai, and S. Fan, "Game theoretic based pricing strategy for electric vehicle charging stations," *IET Conference Publications*, vol. 2015, no. CP679, 2015.
- [89] I. García-Magariño, G. Palacios-Navarro, R. Lacuesta, and J. Lloret, "ABSCEV: An agent-based simulation framework about smart transportation for reducing waiting times in charging electric vehicles," *Computer Networks*, vol. 138, pp. 119–135, 2018.
- [90] I. Morro-Mello, A. Padilha-Feltrin, and J. D. Melo, "Spatial-Temporal model to estimate the load curves of charging stations for electric vehicles," *2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America, ISGT Latin America 2017*, vol. 2017-January, pp. 1–6, 2017.
- [91] A. O. Hariri, M. M. Esfahani, and O. Mohammed, "A Cognitive Price-Based Approach for Real-time Management of En-route Electric Vehicles," *2018 IEEE Transportation and Electrification Conference and Expo, ITEC 2018*, pp. 1017–1022, 2018.
- [92] I. García-Magariño, G. Gray, R. Muttukrishnan, and W. Asif, "Agent-based IoT Coordination for Smart Cities Considering Security and Privacy," pp. 221–226, 2019.
- [93] J. D. Melo, E. M. Carreno, and A. Padilha-Feltrin, "Spatial-temporal simulation to estimate the load demand of battery electric vehicles charging in small residential areas," *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, vol. 25, no. 4, pp. 470–480, 2014.
- [94] C. Zhuge and C. Shao, "Agent-Based Modelling of Locating Public Transport Facilities for Conventional and Electric Vehicles," *Networks and Spatial Economics*, vol. 18, no. 4, pp. 875–908, 2018.
- [95] F. Montori, A. Borghetti, and F. Napolitano, "A co-simulation platform for the analysis of the impact of electromobility scenarios on the urban distribution network," *2016 IEEE 2nd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a Better Tomorrow, RTSI 2016*, 2016.
- [96] H. Inokuchi and T. Akiyama, "Development of multi-agent simulator for the district-based smart city," *2014 Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, SCIS 2014 and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, ISIS 2014*, pp. 181–184, 2014.
- [97] Y. Liu, J. Yang, Y. Wang, Y. Chai, and J. Xu, "Electric Vehicle Charging and Batteries Swapping Management Strategy with Photovoltaic Generation in Business Districts," *Electric Power Components and Systems*, vol. 47, no. 9–10, pp. 889–902, 2019.
- [98] M. Lom and O. Pribyl, "Smart city model based on systems theory," *International Journal of Information Management*, no. January, p. 102092, 2020.

- [99] Y. Mu, J. Wu, N. Jenkins, H. Jia, and C. Wang, "A Spatial-Temporal model for grid impact analysis of plug-in electric vehicles," *Applied Energy*, vol. 114, pp. 456–465, 2014.
- [100] J. D. Melo, E. M. Carreno, and A. Padilha-Feltrin, "A multi-agent system with a percolation approach to simulate the driving pattern of plug-in electric vehicles," *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference*, pp. 1–7, 2012.



interaction y Artificial Intelligence. Su correo es eruizdegaua@vicomtech.org.

David Eneko Ruiz de Gauna es Licenciado en Administración y Dirección de Empresas por la Universidad de Burgos (España), Máster Universitario en Visual Analytics y Big Data de la Universidad Internacional de la Rioja (España), y actualmente estudiante del Doctorado en Ciencias de la Computación de la Universidad Internacional de la Rioja (España). Ha trabajado en proyectos internacionales vinculados a Smart Cities, y desempeña sus labores científica en el Centro de Investigación Aplicada-Vicomtech especializado en el área de Visual Computing & In-



del Sur y en ETH Zurich en Suiza. Claudia Villalonga ha coordinado un proyecto de investigación del VII Programa Marco de la Comisión Europea y varios proyectos de los programas nacionales de I+D+i INNPACTO y AVANZA. Además, ha participado en proyectos de los programas nacionales de Retos de la Sociedad y CENIT y en un proyecto del Programa de Desarrollo Tecnológico Industrial de Corea del Sur. Su investigación se desarrolla en el ámbito de la ingeniería del conocimiento y la inteligencia artificial, aplicando modelado y razonamiento ontológico para la identificación del comportamiento humano. Su correo es claudia.villalonga@unir.net

Claudia Villalonga es Doctora por la Universidad de Granada en Tecnologías de la Información y la Comunicación y Directora Académica del Máster Universitario en Inteligencia Artificial de la Universidad Internacional de la Rioja (UNIR). En el pasado ha trabajado en los centros de investigación e innovación de varias multinacionales: CGI en Madrid, SAP en Suiza y NEC en Alemania. También ha trabajado en varias instituciones académicas: en la Universidad de Granada, en University of Twente en los Países Bajos, en Kyung Hee University en Corea



de datos, limpieza de datos e inteligencia de negocios. Miembro del grupo de investigación GSyA del departamento de sistemas de información y tecnologías de la Universidad de Castilla-La Mancha, en Ciudad Real (España). Su correo electrónico es luisenrique@sanchezcrespo.org.

Luis Enrique Sánchez es Doctor en Tecnologías Informáticas Avanzadas y profesor de la Universidad de Castilla-La Mancha (Ciudad Real, España) y de la Universidad Internacional de la Rioja. Master en Auditoría de Sistemas de Información por la Universidad Politécnica de Madrid, y Auditor Certificado de Sistemas de Información por ISACA. Es Responsable del área de I+D+i de la empresa Sicaman Nuevas Tecnologías S.L y Marisma Shield S.L. Sus actividades de investigación son sistemas de seguridad de gestión, métricas de seguridad, minería