

Modelado de estaciones de recarga lenta para vehículos eléctricos mediante *software*: revisión del estado del arte

Modeling slow charging stations for electric vehicles through software: a review of the state of the art

María Serrano¹, Yessica Sáez^{2,3*}, Edwin Collado^{2,3}

¹Licenciatura en Ingeniería Electromecánica, Centro Regional de Azuero, Universidad Tecnológica de Panamá,

²Facultad de Ingeniería Eléctrica, Centro Regional de Azuero, Universidad Tecnológica de Panamá,

³Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencias, Ingeniería y Tecnología-AIP (CEMCIT-AIP)

*Autor de correspondencia: yessica.saez@utp.ac.pa

Resumen. Los efectos de la contaminación ambiental causada por las emisiones de CO₂ de los vehículos de combustión interna son cada vez más notables, por lo cual se ha ido implementado la utilización de vehículos eléctricos con el objetivo de reducir estos agentes nocivos, sin embargo, desde su aparición en el siglo XIX, los vehículos eléctricos han tenido poca autonomía respecto a su batería. La solución propuesta para la resolución de este problema consiste en construir estaciones de recarga en puntos estratégicos como centros comerciales, residencias y estacionamientos de oficina u otros establecimientos; considerando la utilización de una recarga de nivel 1 (lenta) para ofrecer una mayor vida útil a dichas baterías. El objetivo principal de esta revisión literaria es plantear distintos modelados de estaciones de recarga lenta de vehículos eléctricos, proporcionando una gama de *softwares* encargados de obtener variadas simulaciones como respuesta a distintos procesos. Para la realización de la investigación, se obtuvieron como base tres *softwares*: MATLAB, LabVIEW y AnyLogic. Los datos planteados por estas herramientas permiten concluir que con la utilización de modelados se logra reducir el costo y duración del proceso de diseño y desarrollo de los distintos sistemas, y además ayuda a visualizar el sistema a una escala computacional y, por ende, reduce el número de defectos.

Palabras clave. Estación de recarga, MATLAB, modelado, recarga lenta, *software*, vehículo eléctrico.

Abstract. The effects of environmental pollution caused by CO₂ emissions from internal combustion vehicles are increasingly notable, which is why the use of electric vehicles has been implemented with the aim of reducing these harmful agents, however, since their appearance in the 19th century, electric vehicles have had little autonomy with respect to their battery. The proposed solution for solving this problem consists of building recharging stations in strategic points such as shopping centers, residences and office parking lots or other establishments; considering the use of a level 1 (slow) recharge to offer a longer useful life to these batteries. The main objective of this literary review is to propose different models of slow recharging stations for electric vehicles and a range of software in charge of obtaining various simulations in response to different processes. To carry out the research, three software's were obtained as a basis: MATLAB, LabVIEW and AnyLogic. The data presented by these tools allowed us to conclude that, with the use of modeling, it is possible to reduce the cost and duration of the process of design and development of the different systems. In addition, it helps to visualize the system on a computational scale and, therefore, reduces the number of defects.

Keywords. Charging station, MATLAB, modeling, slow charging, software, electric vehicle.

1. Introducción

La utilización de combustibles fósiles como método de energía para los vehículos de combustión interna equivale a un aumento gradual en la contaminación, debido a que las pérdidas por calor son traducidas en aproximadamente un 70%. En los últimos años, este aumento en la contaminación ha producido daños severos en el ambiente, razón por la cual se

han tomado medidas entorno a la reducción de estos agentes nocivos. Uno de los métodos implementados se basa en la utilización de vehículos eléctricos (VEs), los cuales se caracterizan por poseer motores eléctricos o de tracción para su utilización, de manera que no son dependientes de los combustibles fósiles.

La autonomía de los VEs ha ido en aumento con el pasar de los años debido, principalmente, a la utilización de baterías de ion-litio, las cuales son utilizadas para almacenar la energía eléctrica del vehículo [1], [2].

Los VEs son considerados actualmente una pieza fundamental para la reducción de la contaminación en el ambiente debido a las múltiples ventajas que traen consigo desde su desarrollo en el siglo XIX [3], no obstante, para poder aprovechar en gran medida toda su tecnología se debe hacer hincapié en la adecuada utilización de los niveles de recarga y las formas de recarga [4], [5], los cuales se detallarán en este artículo.

Para poder maximizar la cantidad de usuarios de VEs se deben tomar medidas pertinentes sobre las estaciones de recarga lenta, las cuales son consideradas el modo de recarga más confiable para los vehículos, ya que por su largo periodo de carga permite que los ciclos de vida de las baterías se prologuen. Un ejemplo claro de esto son las propuestas presentadas por [5], [6], [7], [8], en donde se detallan, mediante simulaciones, diversos modelos que tienen como objetivo beneficiar a la población que circula con VEs con la implementación de diversas estaciones de recarga en puntos estratégicos.

Con el pasar del tiempo se ha implementado la utilización de *softwares* de modelado para la simulación de las distintas funciones de los VEs, incluidas las estaciones de recarga. Este método trae consigo muchos beneficios, ya que el proceso de simulación permite realizar pruebas y ensayos de las distintas configuraciones existentes antes de empezar el proceso de automatización real de los sistemas de recarga eléctrica [9].

Con base a la problemática planteada en este artículo se propone el desarrollo de un marco teórico sobre los conceptos fundamentales de los VEs y el proceso de recarga, además de una introducción a los *softwares* utilizados para el modelado de estaciones de recarga de VEs y sus respectivas simulaciones. El objetivo principal de este estudio es realizar una revisión del estado del arte en donde se planteen distintos modelados de estaciones de recarga lenta de VEs, con el fin de proporcionar una gama de *softwares* que se encarguen de obtener simulaciones que permitan reducir el costo y duración del proceso de diseño y desarrollo de los distintos sistemas.

2. Antecedentes

Aunque los VEs han tenido un mayor auge en los últimos años, su primera aparición fue en el siglo XIX mucho antes que los vehículos de combustión interna. Fue específicamente en 1834 cuando Thomas Davenport creó la primera maqueta de un tren eléctrico considerado como el primer vehículo eléctrico, sin embargo, no es hasta 1839 cuando Robert Anderson construyó el primer vehículo movido por electricidad. No obstante, hasta 1898 se empezaron a comercializar los primeros VEs los cuales eran utilizados para

el transporte en ciudades pequeñas debido a su baja autonomía [1], [10].

Los primeros vehículos de combustión interna surgieron aproximadamente en el año 1886, aunque poseían grandes desventajas como su ruido, fuerte olor a combustible y su dificultad para ser conducidos [2]. A finales del siglo XX, el petróleo comenzó a ser un poco más accesible al mercado y, por ende, los vehículos de combustión interna empezaron a tener éxito.

Aun cuando los VEs fueron desplazados por los vehículos de combustión interna durante un largo periodo; se veía como una alternativa factible para el desarrollo de la sociedad, tanto así que actualmente su fiabilidad ha vuelto a surgir como un método para reducir la contaminación del ambiente.

Ahora bien, para comprender mejor los conceptos relacionados a los VEs se ampliará más información a continuación.

2.1 Vehículos eléctricos

Conceptualizando, los VEs son vehículos impulsados por uno o varios motores eléctricos, los cuales pueden alimentarse a través de una fuente externa que suministre energía eléctrica al sistema [11]. Existen principalmente cuatro grupos en los cuales puede clasificarse los VEs, los cuales se observan en la figura 1.

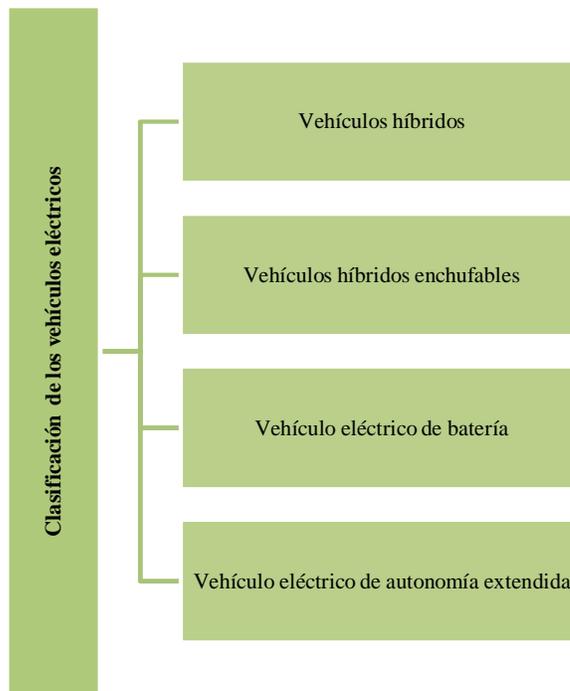


Figura 1. Clasificación de los vehículos eléctricos.
Fuente: Elaboración propia.

Los vehículos híbridos tienen como principal característica la combinación del motor de combustión interna con baterías y motores eléctricos, mientras que el vehículo híbrido enchufable posee la particularidad de generar electricidad con el frenado (frenado regenerativo). Además, posee baterías que se cargan mediante conexión directa con la red, sin embargo, posee como fuente principal un motor de combustión interna. Por otra parte, el vehículo eléctrico de batería es puramente eléctrico, por ende, utilizan la energía eléctrica para poder desplazarse de un lugar a otro y, finalmente, mientras que el vehículo eléctrico de autonomía extendida tiene las mismas características que el vehículo eléctrico de batería con excepción de que tiene una fuente secundaria, misma que funciona como un generador interno que permite la recarga de las baterías [2].

Por otro lado, uno de los principales beneficios de los VEs es su contribución al ambiente debido a que más del 90% de la energía que consumen este tipo de vehículos es convertida en movimiento, esto representa una gran eficiencia energética. Además, estos vehículos no emiten gases nocivos, lo cual es uno de los principales problemas de contaminación ambiental en el mundo.

Los autores de [12] detallan que la relación de CO₂ producida por un vehículo eléctrico es la mitad o el tercio del producido por un vehículo de combustión interna. Mientras que, por otra parte, este tipo de vehículo suele generar una menor contaminación acústica (en reposo o movimiento).

En [4], se revela que la actividad humana es la principal causante del cambio climático. Teniendo así que, el 50% del total de las emisiones del efecto invernadero son causadas por el transporte por carretera (vehículos) y la generación eléctrica, por ende, es necesario tomar medidas que minimicen este deterioro. Uno de los procesos que puede ayudar a reducir este tipo de problemas es el frenado regenerativo propio de los VEs [1], [13].

En cuanto a la autonomía de los VEs, la misma es considerada tres veces mayor a la de los vehículos de combustión interna. Sin embargo, si nos enfocamos en la clasificación detallada anteriormente de los VEs, se debe considerar que los vehículos híbridos enchufables poseen una batería de menor capacidad, por ende, tendrán una autonomía menor que los vehículos puramente eléctricos [10], [12].

Además, es importante mencionar que el costo de mantenimiento y recarga del vehículo eléctrico es mucho menor que el de un vehículo de combustión interna, lo cual produce un beneficio económico a sus usuarios [5].

2.2 Proceso de recarga de los vehículos eléctricos

El proceso de recarga de los VEs depende en gran medida de la batería y de la infraestructura de carga, además del consumo eléctrico [10].

Según los datos de [4], existen aspectos básicos que se deben tener en cuenta para un sistema de recarga de VEs. Estos aspectos son:

- Naturaleza de la energía suministrada al vehículo
- Modo de transferencia de energía
- Flujo de energía
- Velocidad de carga.

Ahora bien, existen tres tipos de recarga de VEs en función de la potencia del punto de recarga y la duración de la misma. A continuación, se conceptualizará más sobre estos tipos de recarga.

2.2.1 Nivel 1- recarga lenta

La recarga lenta es considerada como la más segura y práctica para los VEs debido a que en este nivel no es necesario una instalación eléctrica especial, ya que puede ser realizada en un domicilio con un enchufe convencional. Sin embargo, es recomendable colocar una zona o rama específica para la recarga del vehículo con el objetivo de no generar sobrecargas [14]. Como este tipo de recarga es lenta, el tiempo de espera es de 6 a 8 horas para lograr la carga completa del vehículo [15]. Debido a su tiempo de carga, se recomienda preferiblemente a lugares donde el vehículo permanece estacionado durante un largo periodo de tiempo como domicilios, estacionamientos comunitarios o de oficina [11].

2.2.2 Nivel 2 – recarga media o acelerada

El nivel 2, a diferencia del nivel 1, requiere la instalación de un equipo especial debido a que este tipo de recarga utiliza potencias más elevadas [4], [14]. Un punto clave en este tipo de recarga es que no puede utilizarse en todos los VEs, no obstante, en [2] indican que con el pasar del tiempo puede convertirse en una recarga bastante común. El tiempo de recarga se estima en 3 a 4 horas aproximadamente.

2.2.3 Nivel 3 – recarga rápida

Este tercer y último nivel de carga es el que más potencia consume [4]. A diferencia de los niveles anteriores, en el nivel 3 no se realiza una instalación domiciliaria. Su función principal es realizar una carga pública rápida de 15 a 30 minutos. Para las baterías de los VEs no es recomendable la utilización de este modo de recarga (rápida), ya que lleva a un deterioro prematuro de la misma, disminuyendo sus ciclos de vida, sin embargo, algunos fabricantes ya la admiten [2], [14].

Con base a estos tres niveles de recarga, es recalable la posibilidad de obtener una parte de la energía eléctrica para la recarga por medio de la utilización de energías renovables (energía eólica, solar, geotérmica, etc.), contribuyendo positivamente al ambiente. Los autores de [5] ejemplifican este caso con la consideración de dotar a las instalaciones de recarga con paneles solares con los cuales se puede obtener de forma limpia una parte de la energía eléctrica empleada en la recarga.

2.3 Conectores utilizados para la recarga de vehículos eléctricos

Una vez estudiados los distintos procesos de recarga para los VEs es importante tener en cuenta los tipos de conectores utilizados para dicha recarga (ver tabla 1).

Tabla 1. Descripción de los conectores utilizados para la recarga de vehículos eléctricos

Nombre del conector	Descripción
Schuko	Utilizado en países europeos para recarga lenta [4].
SAE J1772	Este modelo permite identificar la conectividad entre el vehículo y la infraestructura de recarga [4], [7].
Mennekes	Diseñado para efectuar recargas eléctricas en el nivel 2 o 3. El diseño es similar al SAE J1772 [4].
COMBO	Este tipo de conector realiza el método de recarga rápida [7].
CHadEMO	Este diseño surgió para cargar vehículos en corriente continua a altas velocidades [7].
Scame	Este conector se puede utilizar para realizar recargas de nivel 1 y 3, sin embargo, el conector está prácticamente en desuso [4], [7].

Fuente: Elaboración propia con base en [4], [7].

3. Metodología

Para la obtención de la información que se verá reflejada en la siguiente revisión del estado del arte se realizó una búsqueda científica a través de las bases de datos electrónicas de Google Scholar y SciELO en múltiples ocasiones desde el 25 de enero hasta el 19 de marzo de 2021 utilizando los términos de búsqueda: estación de recarga, MATLAB, LabVIEW, AnyLogic, modelado, recarga lenta, *software* y VEs, como texto libre. Se escanearon las referencias de los

artículos para identificar estudios adicionales, así como artículos citados por los autores. Se leyeron los resúmenes de los artículos encontrados y los estudios se incluyeron en la revisión literaria si involucraban el modelado de estaciones de recarga lenta para VEs mediante *software*, con un enfoque en estudios realizados de 56 documentos de los cuales se detallan un total de 44, desglosados en 32 artículos científicos y 12 definiciones de conceptos, necesarios para el desarrollo de los distintos subpuntos.

A continuación, se detallan las distintas consideraciones tomadas en cuenta para el desarrollo de esta revisión del estado del arte.

3.1 Planteamiento de la problemática

Los VEs, como se ha mencionado anteriormente, son un método factible para la reducción de la contaminación. Actualmente, la adquisición de este tipo de vehículos ha aumentado significativamente en diversos países debido a los protocolos y leyes que respaldan a sus portadores, no obstante, para algunas personas aún sigue siendo un problema la autonomía de las baterías de dichos vehículos. Esto ha llevado a plantear la implementación de múltiples estaciones de recarga a lo largo de puntos estratégicos (estacionamientos de oficina, residencias, centros comerciales) en las ciudades con la mayor demanda de VEs.

En [14] se plantea la utilización de los niveles 1 o 2 para una recarga vehicular residencial, no obstante, el nivel de recarga 1 (lento), es el más confiable (diversos autores utilizaron este tipo de recarga en sus estudios, corroborando que es la más segura para el ciclo de vida del vehículo).

Uno de los retos que tiene la nueva flota vehicular eléctrica es adaptarse a la nueva demanda, sin embargo, el sector eléctrico juega un papel fundamental en este entorno, debido a que es el protagonista en los servicios de recarga [2]. Un estudio realizado por [6] demuestra que la introducción masiva de VEs puede afectar considerablemente el nivel de tensión en los nodos y la capacidad máxima asignada al circuito residencial, razón por la cual se debe establecer un algoritmo para la recarga del vehículo eléctrico dentro del entorno de una residencia.

Para lograr satisfacer las necesidades centradas en la recarga de los VEs se han utilizado *softwares* de modelado en ingeniería los cuales, de la mano con un buen sistema, pueden dotar a las estaciones de recarga de múltiples ventajas.

El estudio presentado en este artículo se enfoca en una revisión literaria sobre el modelado de estaciones de recarga lenta de VEs debido a las ventajas que trae consigo la utilización del nivel de recarga 1 para la autonomía del VE.

A continuación, se presenta información sobre el modelado en ingeniería, incluyendo los *softwares* que son más utilizados para este tipo de tareas.

3.2 Modelado de sistemas de recarga de vehículos eléctricos

De manera general, la palabra modelado tiene distintas definiciones, sin embargo, basaremos el estudio en el modelado mediante *software* el cual puede definirse como una técnica utilizada para tratar la complejidad referente a distintos sistemas. La utilización de este tipo de modelado ayuda a visualizar el sistema que se desea construir en un futuro [16]. Ahora bien, el modelado de sistemas de recarga de VEs se realiza con el objetivo de obtener simulaciones que permitan reducir el costo y duración del proceso de diseño y desarrollo de los distintos sistemas. El proceso de simulación permite realizar pruebas y ensayos de las distintas configuraciones existentes antes de empezar el proceso de automatización real de los sistemas de recarga eléctrica [9].

Existe una innumerable cantidad de *softwares* que son utilizados para aplicaciones de modelado en ingeniería, sin embargo, la tendencia masiva de *softwares* utilizados para simulaciones basadas en VEs recae principalmente en MATLAB. A continuación, se detalla información sobre este y otros *softwares* utilizados para tales fines.

- **MATLAB/Simulink:** MATLAB combina un entorno de escritorio, siendo un sistema computacional numérico utilizado para el análisis iterativo y de procesos de diseño [17]. Por otro lado, Simulink es un entorno de programación visual utilizado a nivel de ingeniería para reducir costos en prototipos [3], [18]. El uso de estas dos herramientas simultáneamente permite combinar programación textual y gráfica para diseñar su sistema en un entorno de simulación.
- **LabVIEW:** Utilizado para aplicaciones que requieren pruebas, medidas y control con acceso rápido a hardware e información de datos [19].
- **AnyLogic:** Es una herramienta que incluye todos los métodos de simulaciones utilizados hoy en día para la práctica [20].
- **CPLEX:** Es un paquete de *software* de optimización que recibió su nombre debido al modelo simplex utilizando lenguaje de programación C [21].
- **AVL CRUISE:** Es utilizado exclusivamente para la simulación de vehículos, admitiendo una amplia gama de aplicaciones [22].
- **CANoe Test Package EV:** Biblioteca de casos de prueba de VEs enfocada en probar la conformidad y la capacidad del sistema de información de los VEs [23].

Los *softwares* descritos son algunos de los utilizados para el modelado en general de VEs, no obstante, cabe destacar que existen *softwares* como AVL CRUISE y CANoe Test Package EV que se encargan exclusivamente de simulaciones referentes a vehículos, dejando a un lado las aplicaciones en otras áreas.

3.3 Modelado de estaciones de recarga lenta de vehículos eléctricos

Como ya se planteó anteriormente, el modelado de sistemas o estaciones de recarga trae consigo múltiples beneficios en la construcción de la estructura. En [5], se expresa que resulta de gran interés conocer la relación entre los diversos parámetros de desarrollo. Por ejemplo, el número de habitantes y localización en donde se desea construir la estación de recarga permite plantear el tamaño y tipo de recarga a incluirse de una manera factible.

Con base a lo anterior, diversos autores han utilizado un planteamiento general para la simulación de distintas estaciones de recarga. Por ejemplo, los autores en [6], [7] basan sus estudios en la creación de protocolos de comunicación y algoritmos de gestión, mientras que [24] utiliza la técnica heurística, la cual es vista como el arte de inventar procurando utilizar métodos, criterios y estrategias que permitan resolver un problema a través de la creatividad y el pensamiento [25]. Otro método de estudio implementado es la utilización de energías renovables en casos de estudios específicos tal y como lo realizan [26] y [27]. Por otra parte, [28] crea una propuesta para la implementación de puntos de recarga para VEs enfocándose en áreas residenciales (recarga lenta) y [29] realiza un análisis del desarrollo de las infraestructuras de carga para movilidad eléctrica integrando redes inteligentes. Ambas propuestas son implementadas de manera general.

Para obtener una recopilación de información sobre el modelado de estaciones de recarga lenta, el estudio se basó en tres de los *softwares* expuestos en el subpunto 3.2, centrandose el estudio en MATLAB por ser el más utilizado.

3.3.1 Modelado de estaciones de recarga lenta de vehículos eléctricos en MATLAB

El objetivo principal de MATLAB es ofrecer un entorno de desarrollo integrado utilizando un lenguaje de programación, razón principal por la cual es utilizado para modelar estaciones de recarga de VEs. Diversos autores muestran una inclinación hacia la utilización de Simulink de MATLAB debido a que ofrece un entorno más visual para el espectador.

El desarrollo de una estación de recarga lenta por medio de la utilización de *software* puede plantearse de distintas maneras. Autores de [30] utilizan un modelo conceptual que

representa el sistema de estudio y la construcción del modelo de simulación como se observa en la figura 2.

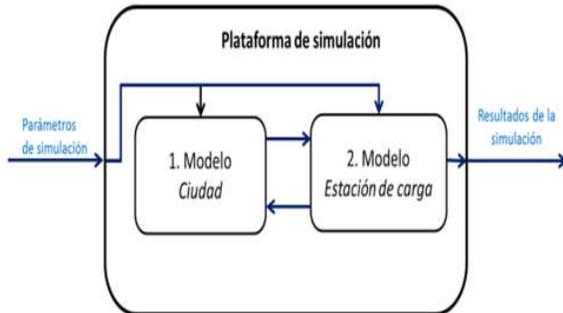


Figura 1. Representación planteada por los autores de [30] para la solución propuesta.

Fuente: [30].

El modelo situado en la figura 2 consta, según lo indica [30], de dos modelos: ciudad y estación de recarga, los cuales se detallan a continuación.

- Modelo ciudad:** Este modelo está basado en la utilización de la cadena de Márkov, la cual es un tipo especial de proceso discreto en el que la probabilidad de que ocurra un evento depende únicamente del evento anterior [31]. En él, cada vehículo se representa por medio de un vector de características que indica el estado del vehículo para todo instante de tiempo [30]. La actualización del estado de carga es realizada considerando el consumo promedio de energía, la capacidad de la batería y la distancia recorrida en un intervalo de tiempo determinado. Dicho estado de carga es calculado por los autores por medio de una ecuación. Para poder contemplar por completo la simulación se debe tener en cuenta que no todos los vehículos que lleguen a la estación de carga van con el mismo objetivo, por ende, si el usuario tiene la intención de realizar una recarga se le asignará un valor de estado de carga. Por otra parte, el sistema incluye otras características, como por ejemplo la capacidad de almacenamiento de la batería y el número de carros en la fila que el conductor está dispuesto a esperar para ser atendido.
- Modelo estación de recarga:** A diferencia del modelo ciudad, el modelo de la estación de carga está fundamentado en la teoría de sistemas de espera. Como su nombre lo indica, su función es ser un sistema de espera donde las entidades llegan para ser atendidas por un servidor. Considerando que el proceso de recarga toma tiempo, y además los conectores para realizar el proceso son finitos existe la probabilidad de que algunos vehículos deban realizar una fila en espera del servicio.

Para lograr un sistema organizado, los autores de [30] generan entidades por medio del uso de SIMIO, el cual es un *software* de modelado y animación en 3D de flujo de procesos por eventos discretos [32]. Dicho *software* lee los valores en un texto plano para luego ser exportados por el modelo de simulación implementado por MATLAB generando así nuevas entidades cada cierto tiempo. Con miras al buen funcionamiento del sistema, los autores tomaron en consideración medidas de desempeño para evaluar la plataforma de simulación tales como: tiempo promedio de espera, tiempo promedio en el sistema, potencia total consumida por la estación de carga como función del tiempo y utilización de la estación de carga como función del tiempo. Los resultados respecto al modelado presentado por [30] demuestran que sus objetivos fueron cumplidos satisfactoriamente debido a que la plataforma permite estudiar el sistema y realizar las decisiones de dimensionamiento de la estación de recarga.

Por otra parte, [33] simula mediante la utilización de tres bloques dinámicos, el comportamiento de un vehículo eléctrico obteniendo así diversas características en entornos determinados como una montaña y una zona urbana. Se considera que el modelo puede resultar como una herramienta útil para establecer estrategias de gestión en redes inteligentes. Además, el documento notifica que el modelo puede ser utilizado como base para desarrollar herramientas de planificación, como se observa en [34], donde se crea un modelado con el interés de verificar cuándo el vehículo eléctrico debe recargarse (dirigirse a una estación), logrando determinar posibles comportamientos (ver figura 3).

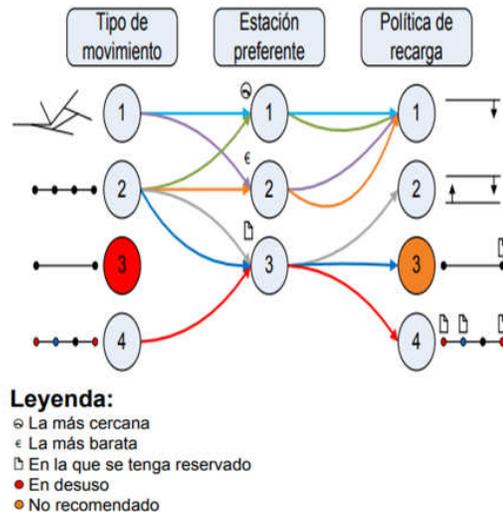


Figura 3. Posibles comportamientos planteados por [34].

Fuente: [34].

La figura 3 muestra los posibles comportamientos planteados por los autores de [34]. Para proceder a elegir la estación a utilizar, el usuario debe basarse en los comportamientos planteados, considerando que el proceso de carga comienza cuando el vehículo llega a la estación donde se llevará a cabo.

Con respecto al simulador, el mismo dispone de un entorno gráfico en el cual se visualizan los vehículos desplazándose sobre el grafo que modela la región a estudiar además se observa el nivel de batería y el vector de la estación.

La simulación es realizada en tiempo discreto, interviniendo en ella dos elementos fundamentales: los vehículos y las estaciones de recarga. En cada instante de la simulación se sigue una secuencia de operaciones básicas descritas por [34], en donde se comprueba si el vehículo está en la estación, si hay que recargar, el inicio de la recarga, su recarga y finalmente su simulación. El modelado de los distintos parámetros con datos reales garantizó resultados factibles.

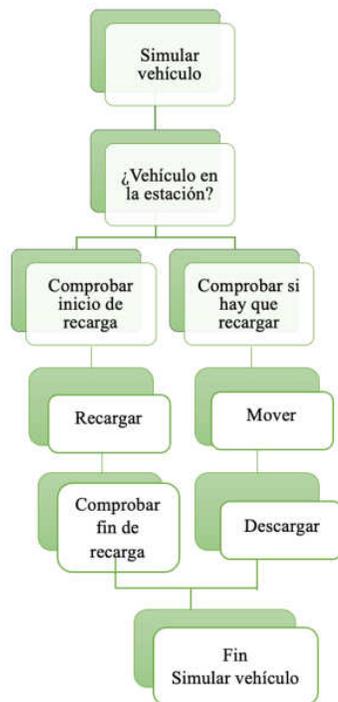


Figura 4. Secuencia del modelado planteado por [34]. Fuente: [34].

Como se ha observado, existen distintos métodos utilizados para la realización de modelados en ingeniería. Un método utilizado para la realización de modelados de VEs se basa en complementar dos *softwares* como en [35], donde MATLAB y

LpSolve son implementados para aplicar un modelo heurístico basado en un algoritmo para estaciones de carga públicas considerando flujos vehiculares y distancias máximas.

Para lograr el modelado, [35] estudia primeramente el sistema planteado en la figura 5, donde se destaca la importancia de diseñar una estación de recarga pública que no solo permita la operatividad de los VEs, sino que a su vez brinde la posibilidad de cubrir un mayor número de rutas. Otro punto que los autores consideran fundamental es el establecimiento de comunicaciones inalámbricas móviles con el objetivo de poder elegir la mejor opción a la hora de recargar el vehículo, haciendo mención a una menor distancia desde cualquier punto en el cual el vehículo eléctrico se encuentre.

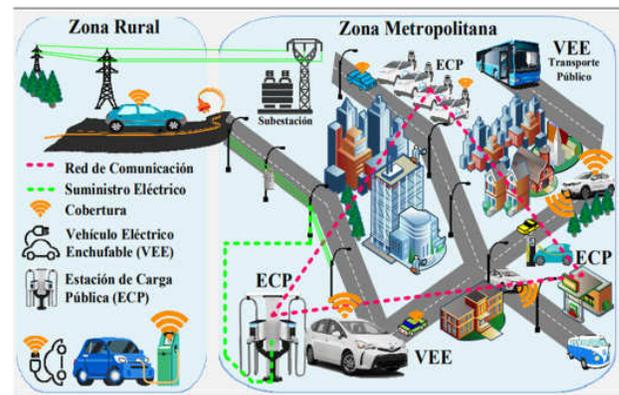


Figura 5. Modelo de infraestructura de estaciones de recarga lenta para vehículos eléctricos (recarga pública). Fuente: [35].

En cuanto a la implementación de modelados matemáticos y sistemas integrados en Simulink, [36] resalta su uso tomando en cuenta diversas ecuaciones que modelan los componentes de los VEs que estarán sometidos al proceso de recarga en las estaciones. Como resultado de tales estudios los mismos resaltan que uno de los inconvenientes encontrados de manera general es el alto costo de inversión que debe realizarse en el proceso. También existen modelados basados en eventos concretos como en [9], donde realizan el estudio de la virtualización de un vehículo eléctrico de inspección de cultivos. Los autores realizan una mezcla de AutoDesk Inventor (programa de diseño mecánico avanzado en 3D [37]) junto con MATLAB para obtener un modelo tridimensional lo más parecido posible al modelo real del vehículo eléctrico.

Muchos autores realizan este tipo de modelados, ya que consideran que el aumento de dichas flotas requiere la implementación y optimización de estaciones de recarga adaptadas, tal es el caso de [38] que simula una estación de

recarga para vehículos eléctricos e híbridos. Los algoritmos planteados se encargan de identificar la tecnología de la batería del vehículo para posteriormente realizar la recarga en periodos de tiempo cortos para no afectar el ciclo de vida útil de la batería (recarga lenta).

Para modelar el sistema, [38] utiliza una representación energética macroscópica implementando en la simulación una estación de recarga con paneles solares. El proceso fue realizado para los tres tipos de vehículos eléctricos e híbridos más vendidos en el mundo, estableciendo así una comparativa.

Para establecer las simulaciones se tomaron distintos horarios de recarga para cada tipo de vehículo dando como resultado una cantidad mínima de pérdidas y una alta eficiencia.

En la figura 6 se observa el modelado que realizaron los autores de [38] mediante el uso de Simulink.

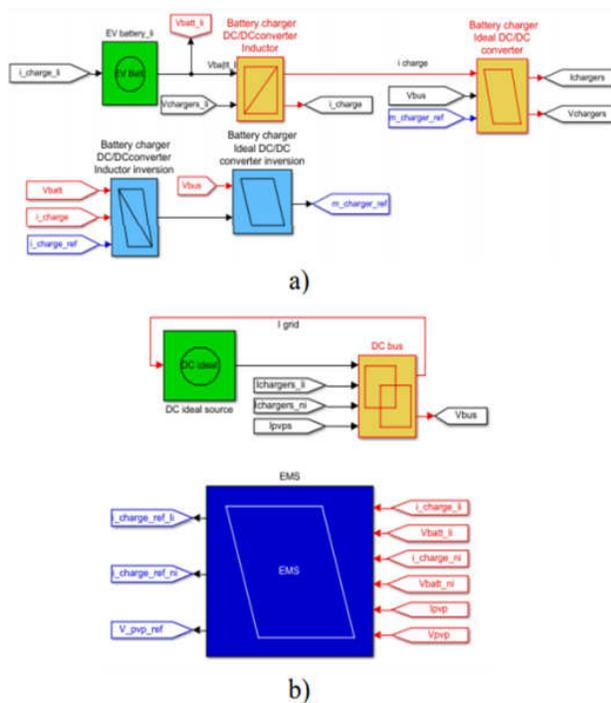


Figura 6. Modelo de la estación de recarga con el uso de Simulink. Fuente: [38].

Unido al uso de Simulink, [39] presenta el estudio de un modelo específico de vehículo eléctrico (Nissan Leaf). Al igual que [38], se utiliza la representación energética macroscópica (EMR) con el objetivo de tener un modelado en tiempo real, además de poder observar el manejo de energía de sistemas. Los resultados de [39] indican que uno de los principales

inconvenientes son los problemas que se generarían a la red eléctrica, ya que las recargas de las baterías a gran escala ocasionan un gran nivel de consumo eléctrico.

Con base a lo anterior, se ha mencionado que una de las mayores deficiencias de la tecnología de los VEs es el elevado costo de las baterías y la autonomía en la recarga de las mismas. Por ello, en [40], los autores plantean un estudio con el objetivo de desarrollar un procedimiento operativo de diseño, simulación y análisis que consoliden la autonomía de los vehículos y su estado de recarga. De igual forma, en [41] se modelan diferentes escenarios de rango, demostrando que la selección adecuada del tipo de vehículo eléctrico puede aumentar su alcance, contribuyendo así al adecuado uso de las estaciones de recarga lenta.

Para finalizar, anteriormente se planteó que existen *softwares* enfocados en simulaciones específicas de VEs. En el caso de MATLAB, existen herramientas desarrolladas únicamente para tales fines. Un ejemplo está en [42], el cual puede configurar diversos elementos de los VEs. Su objetivo principal es simular todos los componentes de un vehículo eléctrico y determinar respuestas con base a los datos obtenidos.

3.3.2 Modelado de estaciones de recarga lenta de vehículos eléctricos en LabVIEW

LabVIEW es utilizado también para el modelado de VEs debido a su enfoque de programación gráfica que ayuda a visualizar distintas aplicaciones, no obstante, su utilización en este tipo de modelado es en menor escala respecto a MATLAB.

En [43], se desarrolla un *software* que sirve como herramienta de simulación para el diseño conceptual de VEs y todo lo que ha ello concierne, enfocados en energía solar. Por medio del uso de LabVIEW, los autores de [43] crearon una carpeta de seis pestañas donde aparece la introducción al *software*, instrucciones, gestión de energía, entre otros aspectos que garantizan la fiabilidad de las distintas simulaciones que se realicen. Los resultados de las simulaciones se pueden observar en tiempo real, en instrumentos de medición y gráficos situados en el modelado. Además, los datos de entrada se pueden almacenar para luego guardarlos.

Al igual que [43], existen distintos simuladores ya implementados por LabVIEW para realizar modelados de VEs.

3.3.3 Modelado de estaciones de recarga lenta de vehículos eléctricos en AnyLogic

AnyLogic es otro *software* que incluye un lenguaje gráfico y permite que sus usuarios puedan ampliar modelos de simulación, razón por la cual es utilizado en modelados de VEs.

En [44], se describe cómo los VEs son compatibles con las bajas emisiones de carbono, considerando por tal motivo, la

construcción de más estaciones de recarga para satisfacer la demanda de carga diaria. Los autores se encargan de simular el servicio de programación de recursos de las estaciones de recarga, además de los tiempos de mantenimiento de las baterías en las ganancias de una estación de recarga de VEs.

El modelo de [44] consiste en los diferentes recursos que una estación de recarga posee, entre estos: mantenimiento de equipo, reparación de equipo y reemplazo de equipo. Con base a los tres recursos descritos el sistema actuará. El modelado realizado en AnyLogic se desarrolló para construir equipos y modelos en los trabajadores. Además de los recursos descritos, los autores modelaron distintos equipos con el objetivo de evaluar y minimizar las afectaciones que pueden darse en el uso de los mismos en las estaciones de recarga.

Los resultados finales de las simulaciones demuestran que el modelado cumple con su funcionamiento, además se aclara que con base a los datos obtenidos es posible calcular los ingresos de las distintas estaciones de recarga por un periodo prolongado de tiempo.

4. Discusión

Es de importancia destacar que los VEs han avanzado con el pasar de los años, considerándose actualmente como un objeto clave para la reducción de la contaminación ambiental producida por los gases nocivos producto de los vehículos con motores de combustión interna.

Con la revisión del estado del arte realizada se tuvo en consideración la extensión de la vida útil del vehículo, por ende, se tomó en cuenta el estudio del modelado de estaciones de recarga lenta de VEs mediante la utilización de *software*. Esto a su vez permitió que se extrajera información importante sobre las estaciones de recarga que representa uno de los factores predominantes en los VEs.

Los resultados obtenidos en este documento indican que la recarga lenta, por su parte, además de ser la más confiable es la más sencilla de realizar debido a que la misma puede adecuarse a un domicilio. Por otra parte, a un nivel más específico la realización de modelados está tomando un mayor auge debido a las múltiples ventajas que trae consigo a la hora de implementar la realización de una estación de recarga en cualquier punto de un país o ciudad.

Finalmente, con la realización de esta revisión del estado del arte se propuso obtener información invaluable sobre un tema que impacta grandemente al ambiente y a los usuarios o posibles usuarios de este tipo de vehículos. Como trabajo futuro se espera la realización una investigación más profunda que permita establecer una comparativa entre los distintos tipos de recarga y su impacto en el ser humano y el ambiente, enfocada en la visualización de manera real de una estación de recarga.

5. Conclusiones

Los VEs traen consigo grandes beneficios para el ser humano y el ambiente, no obstante, actualmente hay muchos factores que influyen en su completa implementación debido a la autonomía alcanzada. Por ello, en los últimos años se han aumentado los puntos de recarga eléctrica para dichos vehículos en diversos países. A continuación, se detallarán las conclusiones obtenidas con la realización de esta revisión literaria:

- El modelado de estaciones de recarga de VEs mediante *software* es utilizado como una herramienta que permite la visualización del entorno que se desea construir en un futuro.
- Los modelados de estaciones de recarga de VEs son desarrollados desde distintos puntos de vista, permitiendo observar simulaciones que evalúan desde modelos generales hasta reducciones específicas enfocadas únicamente a las baterías de los vehículos.
- Los resultados planteados por los diversos autores citados en este documento revelan que la implementación de modelados previo a la realización de la estructura generará una reducción en costos y tiempo de producción.
- La implementación de sistemas con energías renovables (solar, eólica, etc) en los modelados representa una ventaja en la evaluación final de los resultados que se establezcan.

AGRADECIMIENTOS

Y. Sáez y E. Collado, agradecen al Sistema Nacional de Investigación (SNI) de Panamá por proporcionar financiamiento parcial para su participación en la elaboración de este artículo.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

REFERENCIAS

- [1] F. Martín Moreno, «Vehículos Eléctricos. Historia, Estado Actual Y Retos,» 26 Febrero 2016. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Silvina_Elias/publication/305046323_Internationalization_of_Higher_Education_in_the_light_of_some_indicators/links/59073f2b4585152d2e98e92a/Internationalization-of-Higher-Education-in-the-light-of-some-indicators.pdf#p. [Último acceso: 1 Febrero 2021].
- [2] M. García, «Pasado, presente y futuro de vehículos eléctricos,» 2015. [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/71398996.pdf>. [Último acceso: 1 Febrero 2021].
- [3] Fundación Wikimedia, Inc., «Simulink,» 16 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Simulink>. [Último acceso: 8 Febrero 2021].

- [4] A. Expósito Gómez y J. M. Ortega Maza, «Sistema de recarga de vehículos eléctricos: revisión tecnológica e impacto en el sistema eléctrico,» 2019. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6932911>. [Último acceso: 2 Febrero 2021].
- [5] J. M. Hernández y N. González, «Las infraestructuras de recarga y el despegue del vehículo eléctrico,» *Observatorio medioambiental*, vol. XVIII, pp. 57-85, 2015.
- [6] M. C. Q. A y A. J., «Algoritmo de gestión para la recarga de vehículos eléctricos,» 2015. [En línea]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6371455>. [Último acceso: 3 Febrero 2021].
- [7] D. Ramírez y J. Laverde, «Desarrollo de estación de carga de vehículos eléctricos,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/articloe/view/2532>. [Último acceso: 3 Febrero 2021].
- [8] M. Merino Tuya, «Simulación eléctrica de líneas ferroviarias electrificadas para el diseño de un sistema de almacenamiento de energía para la recarga de vehículos eléctricos,» España.
- [9] G. Moreano, «Modelado y virtualización de un vehículo eléctrico autónomo de inspección de cultivos,» Madrid, 2017.
- [10] P. Olivella Rosell, «Modelado de la demanda de carga lenta y rápida de vehículos eléctricos para el estudio de impacto en la red de distribución,» Diciembre 2012. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/20535>. [Último acceso: 2 Febrero 2021].
- [11] M. García Alunda, «Estudio sobre la viabilidad del vehículo eléctrico,» 27 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://addi.ehu.es/handle/10810/18993>. [Último acceso: 1 Febrero 2020].
- [12] I. L. Valera Roás, «Los Vehículos Eléctricos,» 25 Noviembre 2011. [En línea]. Available: https://www.nebrija.com/la_universidad/facultades/facultad-artes-letras/actividades/AulaPluriligue/articulos/LoretoRoas-coches-electricos.pdf. [Último acceso: 1 Febrero 2021].
- [13] C. Fernández Lanchares, «Simulación de vehículos eléctricos,» 2018. [En línea]. Available: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/30571>. [Último acceso: 3 Febrero 2021].
- [14] L. D. Espinosa Pardo, «Estudio de las estaciones de carga para vehículo eléctrico particular para aplicaciones hogar, trabajo, parqueaderos en carga lenta y rápida,» 31 Mayo 2012. [En línea]. Available: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/14969/u615541.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 2 Febrero 2021].
- [15] L. A. Gualpa Tasinchana y C. O. Tenemaza Guanga, «Construcción de una electrolinera para vehículo eléctrico de carga domiciliaria lenta,» Febrero 2020. [En línea]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6818>. [Último acceso: 2 Febrero 2021].
- [16] C. Huangal, «Modelamiento mediante software,» 14 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/CristhianJOscoHuang/modelamiento-software>. [Último acceso: 7 Febrero 2021].
- [17] The MathWorks, Inc., «MATLAB (Math Works),» [En línea]. Available: <https://la.mathworks.com/products/matlab.html>. [Último acceso: 8 Febrero 2021].
- [18] The MathWorks, Inc., «MathWorks (Simulink),» 2021. [En línea]. Available: https://la.mathworks.com/products/simulink.html?s_tid=hp_ff_p_simulink. [Último acceso: 8 Febrero 2021].
- [19] National instrument CORP, «¿Qué es LabVIEW?,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html>. [Último acceso: 8 Febrero 2021].
- [20] Fundación Wikimedia, Inc., «AnyLogic,» 2021. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/AnyLogic>. [Último acceso: 9 Febrero 2021].
- [21] Wikimedia Foundation, Inc., «CPLEX,» 19 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/CPLEX>. [Último acceso: 9 Febrero 2021].
- [22] AVL CRUISE™, «AVL CRUISE™ (Equilibrio entre rendimiento, eficiencia y emisiones,» [En línea]. Available: <https://www.avl.com/cruise>. [Último acceso: 8 Febrero 2021].
- [23] VECTOR V, «Pruebas automatizadas de conformidad e interoperabilidad para vehículos eléctricos,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.vector.com/int/en/products/products-az/software/canoe-test-package-ev/>. [Último acceso: 8 Febrero 2021].
- [24] M. F. Narvárez, «Ubicación de estaciones de recarga de vehículos eléctricos en sistemas de distribución usando una técnica heurística,» Colombia, 2019.
- [25] Significados.com, «Significado de Heurística,» [En línea]. Available: <https://www.significados.com/heuristica/#:~:text=Qu%C3%A9%20es%20Heur%C3%ADstica%3A&text=La%20heur%C3%ADstica%20es%20vista%20como,creatividad%2C%20pensamiento%20divergente%20o%20lateral..> [Último acceso: 22 Febrero 2021].
- [26] A. Rodríguez y E. Hernández, «Acondicionamiento de un aparcamiento para la recarga de vehículos eléctricos e híbridos,» España, 2016.
- [27] Á. Barbero, «Sistema autónomo para carga de baterías mediante una instalación fotovoltaica con aplicación directa al vehículo eléctrico y otros usos,» Madrid, España, 2015.
- [28] M. Rodríguez, «Caso de estudio para la instalación y puesta en marcha de cargadores para carros eléctricos enfocados a vivienda para venta o arriendo del suministro,» Bogotá, 2020.
- [29] E. Fernández Palomeque y M. Coello Salcedo, «El Vehículo Eléctrico Análisis de su Infraestructura de Carga y su Integración a una Smart Grid,» *I+D+i sostenibilidad energética*, 2016.
- [30] D. F. Ardila Palomino, «Desarrollo de una plataforma de simulación para el diseño de una central de carga de vehículos eléctricos,» Colombia, 2013.

- [31] Fundación Wikimedia, Inc., «Cadena de Márkov,» 17 Febrero 2021. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Cadena_de_M%C3%A1rkov#:~:ext=En%20la%20teor%C3%ADa%20de%20la,nombre%20de%20propiedad%20de%20Markov.. [Último acceso: 22 Febrero 2021].
- [32] Galileo Universidad, «Simio, un software para analizar simulaciones de sistemas,» 11 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.galileo.edu/trends-innovation/simio-software-analizar-simulaciones-sistemas/#:~:text=Simio%20es%20un%20software%20de,para%20sus%20estudiantes%20lo%20utilicen..> [Último acceso: 22 Febrero 2021].
- [33] FuturEnergy, «Modelado y caracterización de un vehículo eléctrico utilizando MATLAB,» Septiembre 2015. [En línea]. Available: http://www.futureenergyweb.es/pdf/articulos/2015-09/FuturEnergy-Sept15_29-32.pdf. [Último acceso: 22 Febrero 2021].
- [34] D. Tejero y E. Camacho, «Simulador de vehículos eléctricos en MATLAB,» vol. XXXVI, pp. 495-501, 2015.
- [35] M. Campaña y E. Inga, «Despliegue óptimo georreferenciado de estaciones de carga vehicular pública considerando capacidad de flujo y distancias máximas habilitantes,» *i+D tecnológico*, vol. XV, n° 2, pp. 68-78, 2019.
- [36] G. Perelmuter, L. Mathé, E. Moschen y P. Muñoz, «Dimensionamiento y Modelado de un Vehículo Eléctrico Propulsado por Pilas de Combustible. Análisis Económico y de Factibilidad,» *Revista facultad de ciencias exactas, físicas y naturales*, vol. I, n° 1, pp. 59-66, 2014.
- [37] S. Álvarez, «AUTODESK INVENTOR un sistema de diseño mecánico inteligente con modelado 3D,» 23 Junio 2015. [En línea]. Available: <https://www.3dcadportal.com/autodesk-inventor-un-sistema-de-diseno-mecanico-inteligente-con-modelado-3d.html>. [Último acceso: 27 Febrero 2021].
- [38] C. Aparicio, L. Pérez y J. Solano, «Simulation of an EV-HEV charging station for multichemistry batteries using Energetic Macroscopic Representation (REM),» *SICEL*, pp. 1-6, 2017.
- [39] J. Clairand y J. Vera, «Modelado de Vehículo Eléctrico en un Trayecto Típico de la Ciudad de Quito,» *Revista Politécnica*, vol. XXXVI, n° 1, 2015.
- [40] S. VimalRa, G. Suresh Kumar, T. Sunil y K. Nithiyanthan, «MATLAB/SIMULINK Based Simulations on State of Charge on Battery for Electrical Vehicles,» *Journal of Green Engineering (JGE)*, vol. IX, pp. 256-266, 2019.
- [41] G. Maaz Mufti, M. Ur Rehman y A. Basit, «Modelling and Simulation of the Electrical Vehicle Using Matlab and Verifying it by Driving Cycles,» *International Journal of Engineering & Technology*, vol. VII, pp. 871-875, 2018.
- [42] National Renewable Energy Laboratory, «Simulación del consumo de un vehículo eléctrico usando ADVISOR (MATLAB) en entornos urbanos,» [En línea]. Available: https://miaulario.unavarra.es/access/content/group/2020_CC_245/Propuestas%20TFG/tfg%20advisor.pdf. [Último acceso: 1 Marzo 2021].
- [43] C. Álvarez Arocha, «Herramienta de Simulación para el Diseño Conceptual de Vehículos Eléctricos y Solares,» [En línea]. Available: <https://forums.ni.com/t5/Academia-en-Latinoam%C3%A9rica/Herramienta-de-Simulaci%C3%B3n-para-el-Dise%C3%B1o-Conceptual-de-Veh%C3%ADculos/tap/3880688?profile.language=es>. [Último acceso: 16 Febrero 2021].
- [44] D. Gong, M. Tang, S. Liu, G. Xue y L. Wang, «Achieving sustainable transport through resource scheduling: A case study for electric vehicle charging stations,» *Advances in Production Engineering & Management*, vol. XIV, n° 1, pp. 65-79, 2019.