

ASPECTOS AMBIENTALES DE LA ELECTROMOVILIDAD

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF ELECTROMOBILITY

Carlos Marschoff¹, Jairo Márquez P.², Olga P. Márquez²

¹Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química Buenos Aires C1063ACV - Argentina

²Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Laboratorio de Electroquímica. Mérida 5101 - Venezuela.
e-mail : cmarschoff@gmail.com

Recibido: 15-02-2023

Aceptado: 01-05-2023

RESUMEN

El rescate del medio ambiente, así como la preocupación por el cambio climático, exige de una atención inmediata y oportuna. En este sentido, el 22 de abril se celebra el día Internacional de la Pacha-Mama, haciendo un llamado a la reflexión sobre nuestra interacción con la naturaleza. En esta ocasión, el presidente de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha hecho un llamado a los ciudadanos del mundo, a exigir a sus dirigentes la toma de medidas necesarias para proteger el planeta y su biodiversidad. Uno de los aspectos a considerar es la contribución aportada por los medios de transporte a la contaminación del medio ambiente. En este trabajo se hace una revisión actualizada del uso de fuentes alternativas de energía eléctrica para la movilidad de medios de transporte, conocido como electromovilidad.

Palabras clave: Electromovilidad, Vehículos eléctricos, Cambio climático, Energías limpias, Energías alternativas.

ABSTRACT

The rescue of the environment, as well as concern about climate change, requires immediate and timely attention. In this sense, April 22th is celebrated as International Pacha-Mama Day, calling for reflection on our interaction with nature. On such occasion, the President of the United Nations (UN) has called on the citizens of the world to demand that their leaders take the necessary measures to protect the planet and its biodiversity. One of the aspects to be considered is the contribution made by means of transport to environmental pollution. This paper provides an updated review of the use of alternative sources of electrical energy for the mobility of means of transport, known as electromobility.

Keywords: Electromobility, Electric vehicles, Climate change, Clean energies, Alternative energies.

Carlos M. Marschoff: Doctor en Química (UBA), Investigador Científico en las áreas de fisicoquímica, energía y gestión tecnológica. Fue director de convenios y transferencia de tecnología de la UBA. Coordinador del FONTAR (Fondo Tecnológico Argentino). Gerente general de UBATEC; consultor de organismos internacionales, Prof. de Electroquímica en la Facultad de Ingeniería de la UBA, director general del FONCYT. Director de Proyectos de Green Cross Argentina. E-mail: cmarschoff@gmail.com; **Olga P. Márquez:** Ph.D. en Electroquímica (Univ. de Southampton, U.K.), licenciada en Química (UCV-ULA), personal docente y de investigación de la Facultad de Ciencias-ULA. Mérida-Venezuela. Email: olgamq@gmail.com; **Jairo Márquez P:** Ph.D. en Electroquímica (Univ. de Southampton, U.K.), licenciado en Química (UCV-ULA), personal docente y de investigación de la Facultad de Ciencias-ULA. Mérida-Venezuela. Email: jokkmarquez82@gmail.com.

INTRODUCCIÓN

La Universidad de Buenos Aires ha estado estudiando, desde hace muchos años, varios factores relacionados con la producción de energía, proponiendo que una buena alternativa es la preparación de celdas de combustible, así como el uso de hidrógeno para la construcción de plantas de amoníaco para la producción de fertilizantes e ir sustituyendo, paulatinamente, la obtención del hidrógeno del gas natural por el sistema electrolítico.¹

La preocupación por el presente y futuro de las fuentes de energía no es nueva, desde el siglo 20 se ha estado discutiendo en Argentina esta materia.² El enfoque logístico de la sustitución de fuentes de energía primaria se revisó a la luz de los datos de consumo de energía en distintos países. Se desarrolló un método matemático,³ el cual suponía que, el aumento del uso de una fuente primaria, no afectaría, por sí misma, la cinética de la sustitución. Sin embargo, los efectos medioambientales de la combustión de materiales fósiles han tenido un impacto significativo y, como consecuencia, en la mayoría de los países industrializados se está estableciendo un conjunto de normativas cada vez más exigentes que fijan límites para las emisiones producidas por vehículos, servicios públicos, etc.

Se comprobó que los datos históricos mostraban valores de dispersión más amplios con la teoría durante varios decenios y que se obtenían mejores resultados cuando la sustitución se enfocaba como una competencia entre formas eléctricas y no eléctricas de energía suministrada a los usuarios finales.

Para que sea realidad una electromovilidad respetuosa del ambiente, se debe resolver el problema de la energía, ya que la demanda energética seguirá creciendo, sobre todo en los países menos industrializados que son, además, aquellos en los que la población crecerá por encima de la media mundial; los combustibles fósiles siguen siendo responsables de más del 70% del abastecimiento energético mundial y, en consecuencia, la producción de CO₂

crecerá a pesar de la preocupación general por su impacto climático. Además, las fuentes primarias renovables no están en condiciones de sustituir a los combustibles fósiles en varias décadas debido a los problemas económicos y logísticos asociados a la instalación a gran escala de sistemas de vectorización. De manera que cabe extraer las siguientes premisas:⁴

⊕ Es un objetivo obvio e inmediato reducir los niveles de CO₂ en la atmósfera.

⊕ A largo plazo, la energía solar será la fuente primaria dominante, con una participación menor de la energía eólica e hidráulica.

⊕ La transición a la situación final de equilibrio llevará décadas y los combustibles fósiles seguirán siendo la principal fuente de energía.

⊕ El desarrollo de tecnologías eficientes de captura de CO₂ es una cuestión crítica que debe lograrse.

⊕ En el horizonte, en situación estacionaria, la baja eficiencia de los paneles solares y de los sistemas de vectorización hará necesario que se prevean plantas muy grandes.

⊕ Los grandes costos energéticos asociados a la instalación de dichas plantas y sistemas de vectorización serán sufragados, al menos inicialmente, por los combustibles fósiles.

⊕ En el futuro prevalecerán los valores EOREI (número de Registro e Identificación de Operadores Económicos, por sus siglas en inglés), más bajos y, por lo tanto, aumentarán los costos energéticos con el consiguiente malestar social.

⊕ Nuestra sociedad global se mueve actualmente sobre un delgado puente que debe cruzarse con enorme cautela: Hay que reducir las emisiones de CO₂ mientras aumenta la demanda energética, los valores EOREI de los combustibles fósiles están bajando y los costos de la energía aumentarán

⊕ Debe alcanzarse un acuerdo internacional y mundial respecto a las emisiones de CO₂ e imponer cargas económicas al uso de combustibles fósiles para compensar su impacto.

⊕ Los fondos obtenidos deben aplicarse a un fondo internacional para promover desarrollos tecnológicos y sostener un programa global para fomentar el uso racional de la energía.

En noviembre de 2022, se realizó la primera mesa redonda ministerial de alto nivel sobre la expectativa para antes de 2030, tuvo lugar en la Conferencia de la ONU sobre el Cambio Climático (COP27), con un llamamiento colectivo para aumentar urgentemente la acción y el apoyo al clima.⁵

Según el informe, el mundo está muy lejos de mantenerse por debajo de los objetivos de temperatura del Acuerdo de París. El informe muestra que el cumplimiento de los compromisos actuales por parte de los gobiernos nacionales aumentaría las emisiones en un 10,6 % para 2030 y pondría al mundo en la senda de un calentamiento de 2,5 °C para finales de siglo. La mayoría de las emisiones proceden generalmente del carbón, el gas y el petróleo. De acuerdo con lo anterior, la búsqueda de métodos eficientes para minimizar los efectos negativos de la contaminación no es sólo una tarea gubernamental, sino que la ciencia y la ingeniería deben proponer y aportar técnicas para reducir los factores causantes de este problema, como la eficiencia energética y las mejoras en el transporte,⁶ ya que están de por medio la salud pública y la integridad de las personas; se requiere un trabajo consistente para obtener respuestas para la sociedad, a través del análisis de factores y con metodologías claras, ya que es un deber ético aportar evidencias sólidas que ayuden a resolver los problemas detectados.

En particular, para satisfacer sus necesidades de transporte, las instituciones oficiales de todo el mundo recurren a vehículos propulsados por motores de combustión interna (diésel y gasolina), debido principalmente a su rendimiento, robustez, operación sencilla y fácil mantenimiento; aunque estas supuestas ventajas del uso de combustibles fósiles predeterminan a las instituciones a operar sus vehículos con estos materiales, el impacto ambiental que generan es alto, considerando la emisión de partículas y gases contaminantes con base en el uso de estos medios, lo que representa un mayor riesgo para la salud de las personas y alteración del equilibrio ecológico; es decir, un aspecto negativo desde el punto de vista medioambiental. En la actualidad, esta situación tiende a

cambiar, incorporándose progresivamente a la matriz del transporte otras alternativas, como los vehículos eléctricos, los vehículos híbridos o los híbridos enchufables, que presentan una serie de ventajas asociadas a una mayor eficiencia energética y a la ausencia de emisiones contaminantes en su uso, aunque con limitaciones, como son: la autonomía, la disponibilidad de una infraestructura global para el proceso de carga o el tiempo de recarga del sistema de almacenamiento de energía. Se comprobó que el vehículo híbrido enchufable (PHEV) promueve la infraestructura "Vehicle-to-Grid (V2G)" y proporciona una baja emisión de carbono, definiendo diseños óptimos de automóviles en vehículos eléctricos.⁷

A partir del análisis de las afirmaciones anteriores, se esboza de forma heurística una revisión del "Estado del Arte" de la movilidad en vehículo eléctrico, con el objetivo de aplicar técnicas y buenas prácticas en vehículos, que eventualmente puedan dar respuesta a la pregunta "¿Es posible minimizar los efectos contaminantes de los vehículos a través de la movilidad eléctrica?" y, con ello, generar conocimiento y posibles propuestas de actuaciones futuras, factibles y sostenibles. La energía utilizada en el transporte proviene de dos tipos de fuentes: Renovables y No Renovables; estas últimas son muy conocidas, ya que se basan en insumos como carbón, petróleo y/o gas natural. Las alternativas renovables se enumeran a continuación:⁸

- ⊗ Biomasa: Combustión de masas arbustivas y residuos animales para producir calor y gas.
- ⊗ Hidráulica: Corrientes de agua que aprovechan la diferencia de altura (energía potencial) para hacer girar turbinas y generar electricidad.
- ⊗ Eólica: Captura del viento mediante turbinas para generar electricidad.
- ⊗ Geotérmica: Utiliza flujos de vapor térmico, provenientes de las entrañas de la tierra, para hacer girar turbinas y generar electricidad y calor.
- ⊗ Solar: Absorción y almacenamiento de la energía producida por el sol para generar electricidad y calor.
- ⊗ Combustible de hidrógeno: Utilización

de hidrógeno gaseoso mediante procesos electroquímicos para generar calor y electricidad.

⊕Nanotecnología: Utilización de las propiedades únicas de los materiales a escala atómica o molecular para producir electricidad.

Pero el problema medioambiental no es responsabilidad exclusiva de los gobiernos o del mundo académico, sino que afecta a toda la sociedad. Según la UE, la Comisión Europea⁹ estima que los motores de combustión interna seguirán predominando en vehículos, a corto y medio plazo. El cambio mundial hacia una economía circular con bajas emisiones de carbono ha comenzado y su ritmo se está acelerando. Para garantizar que se pueda responder a las crecientes necesidades de movilidad de personas y mercancías, la estrategia de movilidad con bajas emisiones establece principios rectores claros y justos para que los Estados se preparen para el futuro.

Se han planteado las siguientes estrategias:

⊕Aumentar la eficiencia del sistema de transporte aprovechando al máximo las tecnologías digitales, la tarificación inteligente y fomentando aún más el cambio a modos de transporte con menos emisiones.

⊕Acelerar el despliegue de energías alternativas de bajas emisiones para el transporte, como los biocombustibles avanzados, la electricidad renovable y los combustibles sintéticos renovables, y minimizar los obstáculos a la electrificación del transporte.

⊕Avanzar hacia vehículos de emisiones cero. Aunque, paralelamente, habrá que seguir mejorando el motor de combustión interna

⊕Ofrecer incentivos a las energías y vehículos alternativos de bajas emisiones, fomentando el cambio modal hacia los desplazamientos activos (en bicicleta y a pie), el transporte público y/o los sistemas de movilidad compartida, como el uso compartido de bicicletas, automóviles y vehículos, para reducir la congestión y la contaminación.

⊕Igualmente, se debe aplicar el control de las emisiones al transporte aéreo y marítimo internacionales.

Los vehículos eléctricos pueden funcionar con fuentes de energía bajas en carbono, sus contaminantes atmosféricos son muy bajos y sus componentes pueden reciclarse, como es el caso de algunos modelos de vehículos, que reutilizan más del 90% de las baterías de sus vehículos híbridos (figuras 1 y 2), a través de empresas especializadas.



Figura 1.- Descripción simple de un vehículo híbrido

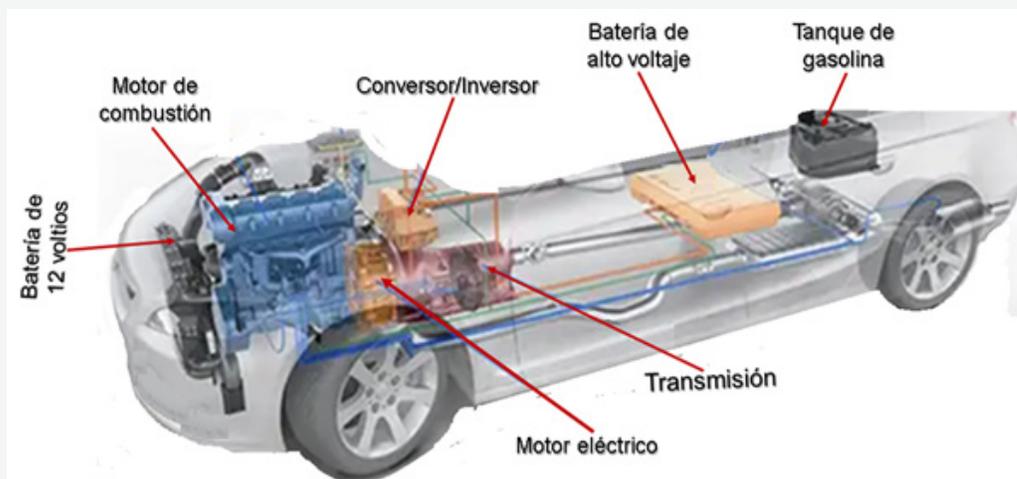


Figura 2.- Ensamblaje convencional de un vehículo híbrido

La figura 2, ofrece más detalles del ensamblaje de un vehículo híbrido clásico.

A través de un acuerdo con la Société Nouvelle D'Affinage des Métaux (Nueva Compañía de Refinado de Metales), se garantiza la adecuada ingeniería inversa mediante el tratamiento y reciclado de las baterías. Hay muchos tipos de baterías, y cada uno de ellas tiene su propia forma de recuperación y tratamiento. Aunque se trate del mismo tipo de batería, puede haber muchas formas de tratamiento. La gente también está tratando de hacer procedimientos más razonables para mejorar la recuperación y utilización de los componentes metálicos de las baterías usadas, y reducir así la contaminación del medio ambiente.¹⁰

Los vehículos ecológicos, incluidos los que pueden funcionar con electricidad, hidrógeno, biogás y biocombustibles, pueden contribuir significativamente a hacer realidad las prioridades de los Estados, que aspiran a desarrollar una economía basada en el conocimiento y la innovación, fomentando el uso eficiente de los recursos, con una perspectiva más ecológica y competitiva gracias a un crecimiento sostenible. Una vida social sana requiere buenos servicios de comunicación, transporte, seguridad, un medio ambiente limpio y accesibilidad a la energía.

Los objetivos de desarrollo sostenible no pueden alcanzarse únicamente aumentando la cuota de vehículos eléctricos; la transición

hacia una movilidad (verdaderamente verde) sólo será posible mediante la sostenibilidad de todo el ciclo de vida de esos vehículos (desde la extracción de materias primas para producir baterías, pasando por el suministro de energía, hasta el reciclaje de las baterías).¹¹

Paralelamente, y por las razones antes expuestas, existe también una demanda creciente de captura, almacenamiento y suministro de energías renovables no contaminantes para satisfacer las demandas sociales. Se está trabajando en la captura, conversión, almacenamiento, suministro y utilización de estas energías. Hay avances importantes en captación de energías renovables, dispositivos de almacenamiento, sensores, detectores, dispositivos de suministro continuo, centrales eléctricas, procesos electrolíticos de interés,¹² además de celdas solares con materiales poliméricos; éstos tienen aplicaciones como materiales electrónicos, dispositivos optoelectrónicos (celdas electrocrómicas, celdas electroquímicas emisoras de luz, dispositivos fotoconductores),¹³ materiales láser, baterías recargables en estado sólido y Supercondensadores.

Se está avanzando en el desarrollo de medios eficientes de almacenamiento de energía, en particular de hidrógeno, lo que unido a otros requisitos actuales, como la facilidad de transporte, la nula o baja producción de contaminantes en su uso, la aceptabilidad, las reservas ilimitadas, la combustión

completa, la eficiencia y la versatilidad de usos (combustible, motores, turbinas, baterías de combustible, etc.), y al hecho de que los actuales requisitos de protección del medio ambiente, así como el progresivo y cercano agotamiento de los combustibles fósiles, apoyan el creciente interés por su producción. Así, por ejemplo, las energías renovables se transforman y utilizan para su conversión en energía eléctrica para diversos usos y/o el almacenamiento de esta energía eléctrica en compuestos químicos, baterías y otros dispositivos. Existe la conversión de energía solar en energía eléctrica en celdas fotovoltaicas o fotoelectrolíticas y la conversión de energía solar en energía química (almacenamiento) en celdas electrolíticas.¹⁴

También está el suministro de energía a partir de las baterías y celdas de combustible ya desarrolladas; el estado actual de la tecnología de celdas de combustible de membrana polimérica (PEM) y su transporte portátil.¹⁵ En el caso de la economía del hidrógeno, éste actúa como vector energético, capaz de almacenar y transportar energía procedente de fuentes renovables ya que su densidad energética (en peso) es superior a la de los combustibles fósiles convencionales, puede utilizarse como materia prima en celdas de combustible de alta eficiencia y, además, no emite gases de efecto invernadero. Cuando el hidrógeno se utiliza como combustible, el subproducto es agua y la combustión produce 39,5 kWh/kg de energía, de 2 a 3 veces más que el metano y la gasolina. Debido a su sencilla estructura química, pertenece a un pequeño grupo de combustibles que pueden utilizarse en celdas de combustible a bajas temperaturas, lo que lo hace apropiado como combustible para vehículos.

Otras vías de almacenamiento de energía de interés para el transporte (vehículos eléctricos) son las celdas de combustible, las baterías de Li y las baterías redox (por ejemplo, de vanadio).

Descripción del problema

El sector del transporte es una de las actividades que genera mayores niveles de

emisiones de CO₂ per cápita y por unidad de Producto Interno Bruto (PIB).¹⁶ La Agencia Internacional de Energía (AIE), advirtió que las emisiones mundiales de CO₂ podrían alcanzar nuevos récords en 2023 por los esfuerzos insuficientes en el desarrollo de energías renovables en los planes de recuperación económica postpandemia.

Por ejemplo, en las economías más avanzadas, las emisiones del sector del transporte¹⁷ representan el 30%. Esto abre una gran oportunidad, ya que pueden introducirse fuentes de electricidad limpias y asequibles. Este sector es el mayor consumidor de combustibles fósiles y las economías de algunos países dependen en gran medida de este recurso. Además de los beneficios globales de reducir la concentración de CO₂ en la atmósfera, así como las emisiones de óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre, la electrificación del transporte puede contribuir a reducir los contaminantes ambientales. Una evaluación del transporte híbrido eléctrico y eléctrico puro en funcionamiento, ha demostrado el impacto de la electromovilidad¹⁸ en la reducción de la contaminación local.

Hoy día, es válido considerar un enfoque pluralista que ofrezca diversas soluciones para la electromovilidad. Los expertos en la materia creen que aumentará la diversificación de combustibles y sistemas de propulsión. Según los estudios realizados por un instituto de investigación alemán, la aplicación de las ventajas de los nuevos combustibles y motores se aprovechará primero en los vehículos urbanos. Se espera que la demanda de vehículos eléctricos o híbridos hasta 2050,¹⁹ sea de unos 8 millones, lo que supone el 17% del volumen actual del parque automovilístico. En 2020, las ventas mundiales de vehículos eléctricos aumentaron un 38% a pesar de un descenso del 20% en todas las ventas de automóviles. Las normativas sobre emisiones en Europa Occidental consiguieron duplicar la adopción de vehículos eléctricos a pesar de la coronavirus.²⁰

La electromovilidad representa una gran oportunidad para la vida cotidiana en el mundo. La investigación sobre

ciberseguridad incluye la evaluación tanto del software como del hardware, el análisis de vulnerabilidades en sistemas de red reales y simulados, y el desarrollo de tecnología para la seguridad de la energía distribuida. Su aplicación contribuirá a aumentar la seguridad y resistencia energéticas,²¹ ayudará a reducir los efectos negativos sobre la salud causados por la contaminación local, mejorará los servicios de transporte y electricidad y contribuirá al proceso de descarbonización del medio ambiente.²² Además, abre la oportunidad de desarrollar nuevas cadenas de valor en la industria digital, automovilística y energética, así como de generar puestos de trabajo de alto valor agregado.

Uso de energía procedente de fuentes renovables.

La energía es la capacidad de los cuerpos para producir trabajo mecánico, emitir luz, producir calor y generar electricidad, entre otras formas. La mayor parte de la energía que se consume actualmente para actividades industriales, domésticas y de transporte, entre otras, procede de fuentes no renovables como la nuclear o de combustibles fósiles como el petróleo, el gas natural o el carbón. Sin embargo, existe la alternativa de utilizar otros tipos de energía procedentes de fuentes naturales como el viento, el sol, el mar, la tierra o el agua. De hecho, toda la energía disponible procede del sol,²³ el sol produce el viento, la evaporación de las aguas superficiales, la formación de nubes, las precipitaciones, etc.

Su calor y su luz son la base de numerosas reacciones químicas esenciales para el desarrollo de plantas y animales, cuyos restos, a lo largo de los siglos, han dado lugar a los combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural. Vivimos una época en la que la humanidad debe decidir qué tipo de energía utilizar de forma masiva para salvar el planeta. Las fuentes de energía renovables se presentan como la gran solución para el futuro de la Tierra porque se generan con infinitos materiales que se encuentran en la naturaleza y se regeneran fácilmente. Además, producirlas es mucho

menos contaminante que las fuentes de energía no renovables, aunque, debido a su escasa popularidad, siguen siendo más costosas de producir y requieren la creación de infraestructuras a gran escala que pueden afectar a los ecosistemas naturales si no se toman precauciones.

Las energías renovables son aquellas cuyo potencial es inagotable, ya que proceden de la energía que llega continuamente a nuestro planeta, como consecuencia de la radiación solar. El crecimiento de las energías renovables está en auge, como reflejan las estadísticas que proporciona anualmente la Agencia Internacional de la Energía (AIE)²⁴ que cada año incluye una previsión del consumo energético en los países miembros, informa que la cuota de las renovables en el suministro eléctrico mundial pasará del 26% en 2018 al 44% en 2040, y aportarán 2/3 del incremento de la demanda eléctrica en ese periodo, principalmente a través de las tecnologías eólica y fotovoltaica.

La 6ª edición de Energy Transition Outlook²⁵ combina la previsión de "mejor estimación" para la transición energética con un "Camino hacia las emisiones netas cero". El "Energy Transition Outlook de DNV" es ampliamente consultado por la industria energética y los responsables políticos. En el informe se puede explorar la evolución de: demanda de energía por sector y fuente, electricidad e hidrógeno, escalado de las energías renovables por tecnología, suministro energético y combustibles fósiles, eficiencia energética por sectores, gasto energético, factores políticos que impulsan la transición, emisiones e implicaciones climáticas, el camino hacia las emisiones netas cero, transición en 10 regiones del mundo.

La transición a un sistema energético basado en tecnologías renovables tendrá efectos muy positivos en la economía y el desarrollo mundiales. Según IRENA (Agencia Internacional de Energías Renovables),²⁶ para alcanzar el Acuerdo de París es necesario duplicar la cuota de las energías renovables en la generación de electricidad hasta alcanzar el 57% a nivel mundial en 2030. Esto requiere aumentar la inversión

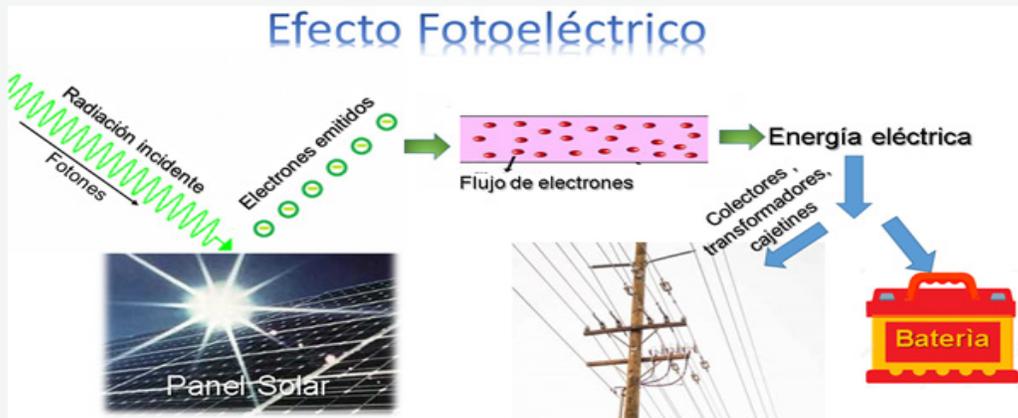


Figura 5.- Energía solar fotovoltaica

Energía hidroeléctrica

Obtenido por el caudal de ríos y arroyos de agua dulce³⁰ se produce, normalmente, en presas (figura 6).

Energía Geotérmica

Nace en el corazón de la tierra.³¹ Aprovecha las altas temperaturas de yacimientos bajo la superficie terrestre, normalmente volcánicos, para generar energía a través del calor (figura 7). Este calor calienta el agua (u otro fluido), que hace girar la turbina de un generador, produciendo electricidad. También se puede obtener energía eléctrica mediante las rocas secas y calientes, bombeando agua a través de las rocas calientes (en lugar de utilizar el calor para calentar el agua y hacer girar la turbina).

Energía Mareomotriz

Aprovecha la fuerza de las mareas para la producción de energía eléctrica con el uso de un alternador. Es energía renovable obtenida de una fuente primaria, no se puede agotar por su explotación, por eso, se está constituyendo como una alternativa a los combustibles fósiles.

La energía mareomotriz se genera a través de grandes turbinas sumergidas bajo el mar que giran por la fuerza de las mareas. La rotación de las hélices de las turbinas produce energía, esta energía es trasladada a alternadores para convertirla en electricidad (figura 8). También se puede generar con presas de gran longitud (situadas bajo el agua) que giran por el empuje de las

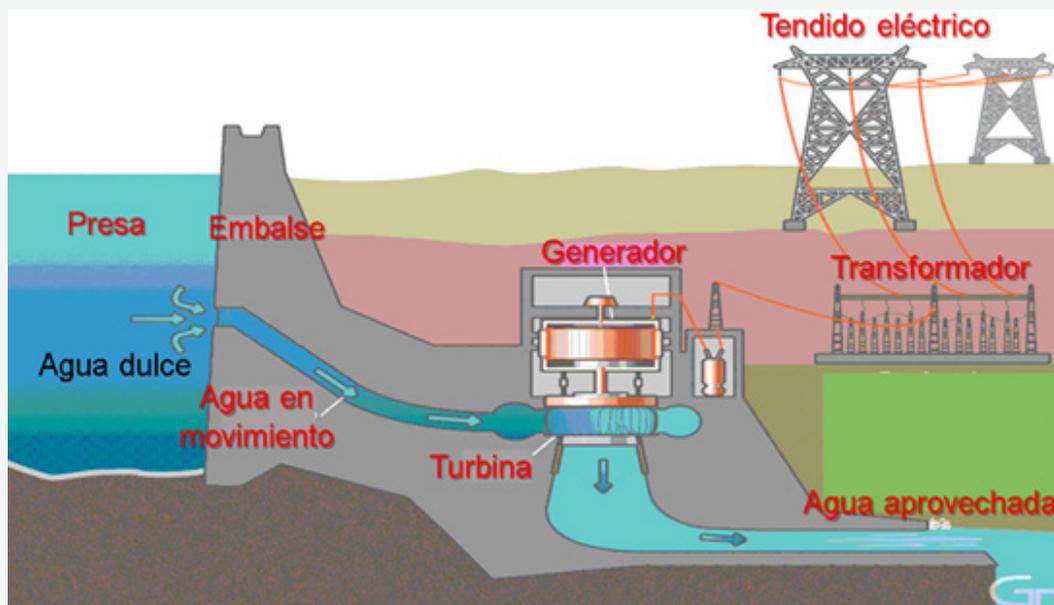


Figura 6.- Energía Hidráulica o Hidroeléctrica

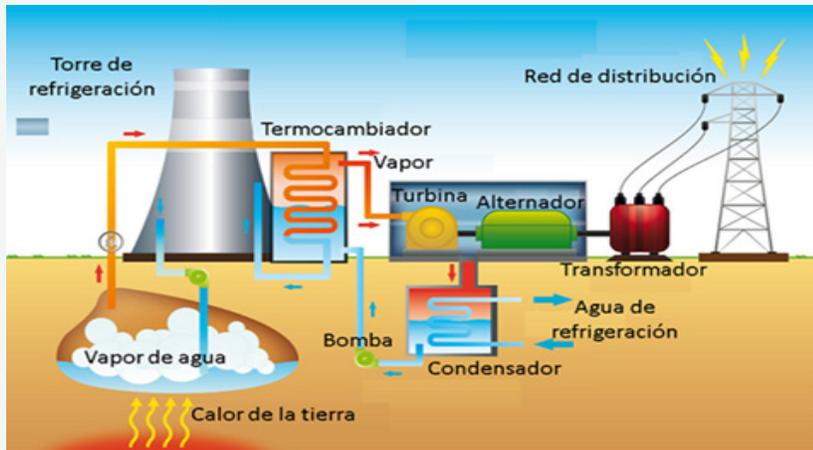


Figura 7.- Planta de Energía Geotérmica

corrientes marinas, aprovechando así la energía cinética del agua.³²

Energía Undimotriz

Es la energía que permite obtener corriente eléctrica a partir de energía mecánica producida por el movimiento de las olas. Se compone de energía cinética y mecánica que se transforman en energía eléctrica mediante diferentes técnicas, según el tipo de tecnología que emplee cada central. Se obtiene a partir de fenómenos naturales por lo que es una fuente de energía renovable y limpia (figura 9). El calentamiento del agua depende de la radiación del sol y el tamaño de las olas del mar y de la velocidad del viento. Además, los métodos que se utilizan para extraerla y transformarla en electricidad son respetuosos con el medio ambiente.³³

Principales objetivos de la electromovilidad

El aumento de la producción de energía, para satisfacer las necesidades de consumo actuales, es esencial para la vida en el planeta. La vida sedentaria del pasado ya ha desaparecido, y ahora, las fuentes de energía resultan insuficientes y problemáticas para la sociedad y la satisfacción de sus necesidades.

El término electromovilidad,³⁴ en el desarrollo práctico está íntimamente relacionado con el transporte, en su expresión más amplia; el término es aceptado, ganando popularidad y atención práctica por parte de la población. Así pues, la electromovilidad se refiere a la



Figura 8. - Energía Mareomotriz



Figura 9.- Energía Undimotriz

implementación de vehículos de transporte eléctricos eficientes, no contaminantes, seguros y accesibles. Paralelamente, y por las razones antes expuestas, existe también una demanda creciente de captura, almacenamiento y suministro de energías renovables no contaminantes para satisfacer las demandas sociales. Se está trabajando mucho en esos aspectos.³⁵

Electromovilidad e impacto medioambiental

La contaminación ambiental,³⁶ es generada principalmente por la actividad humana y esto está produciendo graves consecuencias al ser humano y a los ecosistemas que habitan el planeta. A modo de ejemplo, se pueden citar los siguientes:

- ⊕ Problemas cardiovasculares, respiratorios, visuales, cutáneos, cáncer, entre otros.
- ⊕ Alteraciones en el proceso evolutivo de la vegetación, inhibición del proceso fotosintético y disminución de la producción de alimentos.
- ⊕ Cambios en el clima y efecto invernadero.
- ⊕ En cuanto al transporte vehicular, se ha prestado atención a los asuntos relacionados con los gases de escape,³⁷ el ruido y la emisión de olores.

Los principales gases contaminantes son el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono (CO₂) y los hidrocarburos (CH), todos ellos muy nocivos para el cuerpo humano. La presencia en la atmósfera de hidrocarburos ligeros (olefinas, benzopireno) y hollín se debe principalmente al transporte de

vehículos y a los procesos industriales. Los ruidos se atribuyen principalmente al motor y al tubo de escape. La mayoría de los vehículos eléctricos son conocidos por no emitir gases contaminantes y de efecto invernadero a la atmósfera. Son vehículos que no necesitan ningún tipo de combustible para funcionar, ya que basta con cargar las baterías. El vehículo eléctrico puro se conecta a la red para recargar sus baterías.

La recarga eléctrica³⁸ puede realizarse en el garaje de casa con un enchufe convencional (3-10h), o con uno de mayor potencia, reduciendo el tiempo de carga a la mitad; de esta forma el ciclo de carga varía, dependiendo del modelo de vehículo y del tipo de recarga. La recarga se puede realizar en puntos públicos (estaciones eléctricas que son subestaciones de carga en los grifos para vehículos eléctricos, se tarda entre 20 minutos y 1,5 horas),

Algunos vehículos disponen de aplicaciones digitales que permiten la gestión remota de la recarga,³⁹ En cuanto a la tecnología híbrida, es menos ruidosa y menos contaminante que el actual sistema de motor de combustión, hay un alto porcentaje de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (aunque no total) y actualmente se puede considerar como transitoria, mientras se resuelven limitaciones como la autonomía en los vehículos eléctricos y otros problemas.

En resumen, se puede afirmar que la aparición de los vehículos eléctricos supondrá grandes aportes a la solución de problemas de contaminación ambiental,

salud, cambio climático, efecto invernadero, acceso a la energía, ahorro monetario, etc. También es necesario destacar que aún queda mucho trabajo por hacer, como la implementación de un transporte eficiente, accesible, limpio, seguro, cómodo, de bajo costo, sin ruidos y sin emisiones.

Se pueden mencionar algunos objetivos importantes de la electromovilidad:

⊕ Debe ofrecerse al público unidades de transporte limpias, eficientes y generalmente aceptadas.

⊕ Debe existir una infraestructura adecuada para garantizar el suministro de energía a los vehículos desde las estaciones y la red eléctrica pública, así como ofrecer la opción de utilizar energía eléctrica almacenada y/o energía producida a partir de fuentes de energía renovables.

⊕ Se debe exigir a las autoridades competentes que trabajen para optimizar los mecanismos de reducción de las emisiones de gases contaminantes, minimizando así los cambios de temperatura ambiental y la presencia de otros contaminantes. De esta forma, se pueden alcanzar mejoras en el clima y el medio ambiente. La recarga del vehículo puede hacerse desde casa, la oficina o una estación de servicio.⁴⁰

⊕ Generan ahorros en el consumo de combustible y en el mantenimiento de los vehículos.

⊕ El costo de las baterías también ha ido disminuyendo.

⊕ No presentan vibraciones ni sonidos durante la conducción.

⊕ La eficiencia de un motor eléctrico es alta ($\approx 96\%$), en comparación con el motor de combustión (35 a 40%).⁴¹ El vehículo eléctrico acelera más rápido que un vehículo con motor de combustión de potencia similar. Puede arrancar a velocidad máxima.

⊕ Durante el frenado, el motor puede funcionar como generador de corriente para recargar la batería.

⊕ A diferencia de los vehículos convencionales, el motor eléctrico no funciona en parado.

⊕ El motor de propulsión del vehículo eléctrico es más sencillo que el motor de combustión, se eliminan algunas piezas del vehículo (caja de cambios, embrague,

silenciador, etc.).

⊕ Se está trabajando en la cantidad de energía almacenable y en el tiempo de recarga de la batería (por ejemplo, cambio de batería), con resultados favorables.⁴²

⊕ Es necesario desarrollar y aumentar el número de estaciones públicas de recarga de vehículos.

Se necesita y desarrolla un transporte eficiente, limpio y accesible, comprometido con el medio ambiente, el bienestar y la salud de las personas, y que permita crear mejores espacios urbanos. Es necesario tomar precauciones a la hora de distribuir y consumir los recursos de la Tierra. El uso actual del gas natural y de los combustibles fósiles, combinado con el aumento de la población mundial, ha provocado el abuso y el agotamiento de los recursos de la tierra.

Los efectos sobre el medio ambiente son agotadores y amenazan la sostenibilidad de la Tierra. La forma en que se ha venido consumiendo los combustibles fósiles es muy preocupante; y lo peor es que, durante las dos últimas décadas el consumo de combustibles fósiles ha aumentado. Las reservas de petróleo en todo el mundo están disminuyendo, y la producción de energía depende actualmente en exceso del petróleo y los combustibles, que contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero. La liberación de contaminantes a la atmósfera tiene serias consecuencias, entre ellas el calentamiento global; por ello, ¡es necesario proteger el planeta Tierra incorporando a nuestra vida cotidiana fuentes de energía renovables y respetuosas con el medio ambiente! Las energías renovables⁴³ son poco contaminantes e inagotables, contribuyen al desarrollo de tecnologías propias y son necesarias para la electromovilidad. Estos recursos energéticos renovables no se agotan, a diferencia de los combustibles fósiles y el gas, e incluyen la energía eólica y la solar.

Los vehículos eléctricos desempeñan un papel importante en el cambio gradual hacia una sociedad con bajas emisiones de carbono. Sin embargo, el impacto de la electromovilidad en un sistema eléctrico incluye diferentes problemas de calidad de

la energía que deben minimizarse. El uso de energías renovables ayuda a reducir los efectos adversos del proceso de carga de los vehículos eléctricos en el sistema eléctrico. La implementación generalizada de la electromovilidad está asociada a un aumento de la demanda de electricidad.⁴⁴

La carga de los vehículos eléctricos podría suponer una amenaza para la red eléctrica en términos de carga adicional. Una red adecuada es crucial para un sistema eléctrico robusto y fiable con múltiples estaciones de carga que dispongan de varios puntos de recarga. Las nuevas topologías de cargadores de baterías y la aplicación de filtros de potencia activos pueden aliviar o casi eliminar el efecto adverso de la carga de vehículos eléctricos.

El transporte es responsable de casi el 25% de las emisiones de gases de efecto invernadero y es la principal causa de contaminación atmosférica en las ciudades; casi el 90% de los habitantes de las ciudades están expuestos a niveles de contaminantes atmosféricos considerados nocivos por la Organización Mundial de la Salud, y aproximadamente el 95% de los vehículos que circulan por las carreteras siguen utilizando combustibles fósiles. Por tanto, las políticas de transporte aplicadas se enfrentan a la necesidad de reducir la influencia negativa del transporte sobre las personas y el medio ambiente.

La electromovilidad se ha convertido en uno de los conceptos que permiten alcanzar este objetivo. Su principal objetivo es reducir las emisiones de sustancias nocivas al medio ambiente mediante el despliegue de vehículos eléctricos. Algunos investigadores han demostrado que el transporte público puede contribuir a reducir las emisiones contaminantes a la atmósfera y convertirse en un motor importante para la implementación de la electromovilidad en las ciudades. Sin embargo, la consecución de este objetivo depende de la adopción de medidas adecuadas no sólo en el sector del transporte, sino también en otros sectores de la economía. Los autobuses son un eslabón importante de la cadena de movilidad multimodal. También constituyen

una herramienta para la aplicación de una política de transporte sostenible y, por lo tanto, pueden y deben ser una herramienta para la electromovilidad. Los autobuses y taxis tienen la huella de carbono por pasajero más baja de todas las formas de transporte motorizado. La electromovilidad es una de las soluciones destinadas a reducir las molestias relacionadas.

La popularización de los vehículos eléctricos e híbridos de batería es actualmente uno de los retos a los que hay que hacer frente. El aumento del número de vehículos eléctricos puede definirse como acumulativo, ya que se verá facilitado por: la normativa legal que promueve el transporte eléctrico, la reducción de los precios de los vehículos derivado del desarrollo tecnológico y la producción en serie. Cabe esperar que en varias décadas los vehículos eléctricos sean los dominantes en el ámbito del transporte privado, y dentro de una docena de años la cuota de vehículos propulsados por energía eléctrica será mucho más significativa que en la actualidad. La cantidad de demanda de energía y su variabilidad, con las condiciones actuales y previstas para el desarrollo de la infraestructura de generación⁴⁵ (incluida la cuota de cada una de las tecnologías de generación de energía) y la red del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), son los principales determinantes de la estabilidad y fiabilidad del sistema eléctrico nacional y, portanto, del nivel de seguridad del suministro eléctrico. Que la introducción de vehículos eléctricos sea o no sostenible en las megaciudades depende de muchas condiciones locales, como la combinación energética, el clima y el flujo de tráfico. El Índice de Potencial de Electromovilidad (EMPI) es una herramienta innovadora para evaluar de antemano cada ciudad. La metodología y la estructura de este índice tienen un enfoque de aplicación universal.

Vehículos eléctricos

Se están realizando estudios sobre las normas aplicables a los vehículos eléctricos, que incluyen normas de carga, normas de integración en la red y normas de seguridad. Se resume la infraestructura de recarga de los vehículos eléctricos, incluida la

infraestructura de alimentación, control y comunicación, así como las repercusiones de la integración de los vehículos eléctricos en diferentes aspectos de los sistemas eléctricos y las técnicas de integración de los vehículos eléctricos en la red. Por último, se presentan retos y sugerencias para el desarrollo de futuros vehículos eléctricos.⁴⁶

La creciente popularidad de los vehículos eléctricos exige la creación de más estaciones de recarga, lo que afecta significativamente a la infraestructura de la red eléctrica. Se están desarrollando diferentes estrategias de recarga, y métodos de integración en la red, para minimizar los efectos adversos de la recarga de vehículos y reforzar los beneficios de la integración a la red de los vehículos eléctricos. Tecnológicamente, los vehículos eléctricos pueden clasificarse de la siguiente manera:

⊕ Vehículos eléctricos de batería al cien por cien: son vehículos eléctricos de batería, que se mueven mediante uno o varios motores eléctricos alimentados por una batería, que puede recargarse de la red. Estos vehículos no tienen emisiones.⁴⁷

⊕ Vehículos eléctricos de hidrógeno: Funcionan mediante celdas de combustible.⁴⁸ La diferencia con los vehículos cien por cien eléctricos es que la energía que utilizan sus motores eléctricos procede de una reacción química que tiene lugar en el interior de la celda de combustible, alimentada por hidrógeno y oxígeno: éste se oxida, perdiendo electrones que son captados para generar una corriente eléctrica que mueve el motor eléctrico.

⊕ Vehículos eléctricos de autonomía extendida: están equipados con un motor de combustión de gasolina acoplado a uno o varios motores eléctricos. En este caso, el motor de combustión no impulsa las ruedas del vehículo, sino que funciona como generador eléctrico para recargar la batería, que, a su vez, alimenta el motor eléctrico que impulsa las ruedas. Además, esta batería puede conectarse a la red para recargarse. Cuando la batería está suficientemente cargada, el motor de gasolina se para y el vehículo se desplaza sin emisiones. Por tanto, pueden considerarse vehículos eléctricos.

⊕ Vehículos híbridos enchufables: tienen un motor de combustión, normalmente de gasolina, acompañado de un motor eléctrico.⁴⁹ Ambos motores son capaces de mover el vehículo por sí solos y también combinados.

⊕ Los vehículos eléctricos híbridos (VEH) y los vehículos eléctricos de batería (VEB), con un potencial de mayor eficiencia energética, están ganando popularidad y sustituyendo gradualmente a los vehículos convencionales.

⊕ Los vehículos eléctricos de autonomía extendida (EREV, por sus siglas en inglés) son un subconjunto de estos nuevos vehículos energéticos cuyo objetivo es obtener beneficios tanto de los VEH como de los VEB y ofrecer una solución para reducir las emisiones del tubo de escape al tiempo que proporcionan una autonomía de conducción satisfactoria en comparación con los vehículos tradicionales con motor de combustión interna (ICE, por sus siglas en inglés).⁵⁰ Se está desarrollando y analizando una estrategia en un entorno de modelización.⁵¹

⊕ Vehículos híbridos no enchufables: son mecánicamente similares a los enchufables con la diferencia de que en este caso la batería que alimenta el motor eléctrico es muy pequeña y sólo puede recargarse con el motor de combustión. La autonomía eléctrica de este tipo de vehículos es muy baja, en torno a un kilómetro. Su principal ventaja es que reducen el consumo, sobre todo en trayectos urbanos.

Gama de vehículos eléctricos

Se ha realizado una evaluación del estado del arte de las estrategias de gestión de la energía en relación con las gamas de vehículos eléctricos. Para hacer frente a los urgentes retos medioambientales de la contaminación atmosférica relacionada con el transporte y la escasez de energía, los vehículos eléctricos híbridos (VEH) y los vehículos eléctricos de batería (VEB) con potencial para una mayor eficiencia energética están ganando popularidad y sustituyendo gradualmente a los vehículos convencionales. Los vehículos eléctricos de autonomía extendida (EREV, por sus siglas en inglés) son un subconjunto de

estos nuevos vehículos energéticos que pretenden beneficiarse tanto de los HEV como de los BEV y ofrecer una solución para reducir las emisiones del tubo de escape a la vez que proporcionan una autonomía de conducción satisfactoria en comparación con sus homólogos tradicionales con motor de combustión interna (ICE). Es importante el desarrollo actual de los EREV en cuanto a la estructura de la cadena cinemática, la gestión de la energía y el rendimiento del vehículo, centrándose en áreas como el control de carga de la unidad de potencia auxiliar (APU) y la gestión de la energía del sistema de almacenamiento de energía (híbrido) ((H)ESS).⁵²

La selección, el dimensionamiento y la gestión de un sistema de almacenamiento de energía para un vehículo eléctrico (VE) son fundamentales a la hora de considerar su implementación a gran escala. La naturaleza complementaria de la batería y el ultracondensador (UC) hace de esta combinación un sistema híbrido de almacenamiento de energía (HESS) adecuado para el VE, ya que la relación entre la demanda de potencia máxima y media es muy alta, especialmente en una conducción urbana caracterizada por aceleraciones y desaceleraciones frecuentes. Una UC del tamaño adecuado combinada con el paquete de baterías proporciona la alta densidad de potencia necesaria, así como una alta densidad de energía. El HESS hace que el VE sea más eficaz, con una respuesta dinámica

mejorada, más kilómetros por carga y una mayor duración de la batería. Se ha descrito una estrategia de gestión de la energía basada en un control de lógica difusa que emplea la UC para aliviar a la batería de las corrientes de descarga máxima, así como de las corrientes de carga rápida. La unidad de acondicionamiento de potencia limita la corriente de la batería, así como su tasa de cambio, manteniendo el estado de carga de la UC en los límites deseados.⁵³

Los vehículos eléctricos de batería (BEV) tienen el potencial de resolver los futuros problemas relacionados con las emisiones de gases de efecto invernadero de los vehículos de pasajeros y comerciales y establecer la independencia de los recursos de combustibles fósiles que se están agotando. La figura 10 muestra ejemplares de vehículo eléctricos disponible en el mercado.

Impacto de la electromovilidad en la red eléctrica inteligente

La red inteligente se encarga de la eficiencia energética y del medio ambiente, siendo una contramedida a las devastaciones del territorio que puede originar los combustibles fósiles que alimentan las redes eléctricas convencionales.⁵⁴ Se han reportado resultados referidos al desarrollo de una herramienta de co-simulación de tráfico y redes eléctricas para la planificación de la electromovilidad, plataformas para servicios



Figura 10.- Prototipos de vehículos eléctricos (aire, mar y tierra) en el mercado

de recarga, y arquitecturas de comunicación y gestión de servicios que soportan la interoperabilidad y otras cualidades necesarias para la implementación del marco de redes inteligentes. Para cada contribución, hay que describir las características interdisciplinarias de los enfoques propuestos.⁵⁵ Uno de los principales problemas es la escasez de infraestructuras adecuadas; de hecho, el escaso número de estaciones de recarga públicas que hay actualmente en funcionamiento en varios países, plantea un problema de saturación y disponibilidad.

Además, los conductores particulares suelen sentirse escépticos ante un cambio tan grande en sus hábitos. Una de las razones más notables es la ansiedad por la autonomía, por la que los conductores temen tener un nivel de batería demasiado bajo para llegar a su destino. Desde el punto de vista de los vendedores de energía, la movilidad eléctrica es una nueva fuente de consumo y puede suponer un profundo impacto en la red de distribución. Inicialmente se han realizado escasos y pequeños esfuerzos para evitar problemas como la saturación de las estaciones de recarga. Para programar correctamente las recargas en las estaciones de carga públicas, es necesaria una infraestructura de reservas que evite la insatisfacción de los usuarios y las colas de espera inútiles. Con la llegada y la difusión de los dispositivos inteligentes, se ha fomentado en gran medida una solución de este tipo. Se ha introducido un servicio de re direccionamiento que utiliza, en gran medida, el concepto de reservas y equilibrio de carga, demostrando que, a costa de un viaje ligeramente más largo, una correcta programación de los vehículos redundará en un beneficio global. Por ello, es conveniente dejar al usuario tomar decisión sobre qué estación elegir.⁵⁶

Durante muchos años, la industria automovilística mundial ha reorientado sistemáticamente el desarrollo de los sistemas convencionales de propulsión de vehículos hacia otros nuevos. Los vehículos eléctricos (VE) representan un nuevo concepto de movilidad urbana y son uno de los modos de transporte individual

más eficientes y respetuosos con el medio ambiente, especialmente si la electricidad se genera a partir de energías renovables (FER). Un mayor uso de los VE en el transporte requiere inversiones en el desarrollo y la construcción de infraestructuras -la red eléctrica y las estaciones de recarga-, así como el desarrollo de políticas reguladoras y de mercado. Una de las áreas más importantes de investigación y desarrollo tecnológico es una red eléctrica avanzada, que en última instancia se reduce a integrar las FER y los VE en el sistema eléctrico para mantener su fiabilidad y estabilidad. Por todo ello, es necesario considerar el impacto de las estaciones de recarga de VE en la red de distribución eléctrica a la luz de diferentes escenarios de electromovilidad.⁵⁷

La electromovilidad y, por tanto, los vehículos eléctricos (VE) pueden describirse como una oportunidad importante para reducir los costos de transporte, disminuir las emisiones de CO₂ y otros gases nocivos a la atmósfera, evitar el smog, pero, sobre todo, crear demanda de un nuevo producto. Por ello, en los últimos años, el interés por la electromovilidad ha crecido de forma dinámica en todo el mundo. No obstante, la citada Directiva del Parlamento de la UE no sólo se refiere a la electromovilidad, sino a todos los combustibles alternativos. Cada vez son más los particulares que invierten en este tipo de fuente de energía y utilizan el suministro "propio" con la posibilidad de almacenarlo en la red eléctrica.

Según la fuente, en septiembre de 2020, la capacidad fotovoltaica instalada en el Sistema Eléctrico Nacional era de 2.528,371 MW y es 267,024 MW superior a la de un mes antes.⁵⁸ Aunque estos datos incluyen todas las instalaciones fotovoltaicas comunicadas a las empresas distribuidoras, conectadas tanto a redes de media como de baja tensión, se puede observar la gran demanda que tiene esta fuente de energía alternativa. Las soluciones en el campo de la energía fotovoltaica no sólo abastecen a viviendas unifamiliares, sino también a la energía producida para un particular que simultáneamente produce electricidad y la utiliza para sus propias necesidades⁵⁹ (aquí en una instalación

fotovoltaica)⁶⁰ necesidades de empresas y para fines públicos (parquímetros, paneles informativos). Una de las aplicaciones más populares que combinan la energía fotovoltaica y los vehículos eléctricos son los aparcamientos para vehículos, utilizados para cargar vehículos eléctricos con la energía producida por paneles fotovoltaicos. Hay muchas áreas comunes para estas dos tecnologías, además de los aparcamientos mencionados, se trata principalmente de la implementación del proceso de carga.

Por supuesto, existen barreras que frenan la expansión de los VE, pero gracias a las modernas tecnologías también facilitan el desarrollo del mercado. Se ha hablado sobre todo de la falta de infraestructuras de recarga, los precios de los vehículos eléctricos, la duración de las baterías y la cooperación con la red eléctrica. La energía fotovoltaica empieza a corresponderse bastante con la electromovilidad - la realización del proceso de carga parece ser el primer pensamiento donde ambas tecnologías pueden buscar una correlación mutua. Al realizar el proceso de carga con la energía producida por la instalación, se baja el precio del proceso y se puede utilizar el excedente de la energía producida durante el día.

Sistemas de carga

Las instalaciones de carga son necesarias para apoyar la rápida popularización de los vehículos eléctricos. Además de las baterías de carga fijas generalizadas, recientemente se ha propuesto y estudiado un nuevo servicio de carga que permite a los cargadores móviles cargar vehículos eléctricos. Este estudio pretende analizar cuantitativamente y diseñar un sistema con servicios de recarga fijos y móviles. Primero hay que desarrollar un modelo de equilibrio en un plano homogéneo para capturar los comportamientos de los clientes, examinar la existencia y unicidad del estado de equilibrio, y proponer un algoritmo convergente para resolver el modelo.

Se puede establecer un modelo para formular el diseño óptimo de proveedores de servicios en un plano homogéneo como un problema de programa entero mixto (PIM)

y ampliar el modelo que permite resolver el caso con un plano heterogéneo.⁶¹ Las pruebas numéricas del modelo de equilibrio muestran que el algoritmo puede converger rápidamente a la solución de equilibrio, y a partir de las pruebas numéricas del diseño óptimo modelo,⁶² se puede identificar algunas ideas de gestión para el diseño del sistema híbrido de tarificación. Un sistema integrado de distribución de energía y recarga de vehículos eléctricos (VE) bien diseñado no sólo reducirá los costos de inversión y explotación del sistema en cuestión, sino que también fomentará la popularización de los VE respetuosos con el medio ambiente.

En este contexto, se requiere de una estrategia de planificación colaborativa multiobjetivo para abordar la cuestión de la planificación óptima en los sistemas integrados de distribución de energía y recarga de VE. Se espera que el costo anual global de la inversión y las pérdidas de energía sean minimizados simultáneamente con la maximización del flujo de tráfico anual capturado por las estaciones de carga rápida (FCS). Además, el modelo de asignación de tráfico basado en el equilibrio de usuarios (UETAM) se puede integrar para abordar el problema de la captura del máximo flujo de tráfico. Posteriormente, se debe emplear un algoritmo evolutivo multiobjetivo basado en la descomposición (MOEA/D) para buscar las soluciones no dominadas, es decir, la frontera de Pareto (El diagrama de Pareto es una técnica gráfica que permite analizar los datos obtenidos sobre las causas de un problema y ayuda a identificar cuáles son los aspectos más importantes a tratar). Se han presentado resultados de la planificación colaborativa de dos sistemas acoplados de distribución y transporte, y se han propuesto sistemas para ilustrar el funcionamiento del modelo y el método de solución propuestos.⁶³

Las instalaciones de carga son necesarias para apoyar la rápida popularización de los vehículos eléctricos. Además de las baterías de carga fijas generalizadas, recientemente se ha propuesto y estudiado un nuevo servicio de carga que permite a los cargadores móviles cargar vehículos eléctricos. Se ha analizado cuantitativamente y diseñado

un sistema con servicios de recarga fijos y móviles, primero desarrollando un modelo de equilibrio en un plano homogéneo para capturar los comportamientos de los clientes, examinar la existencia y unicidad del estado de equilibrio, y proponer un algoritmo convergente para resolver el modelo. Esto permitiría establecer un modelo para formular el diseño óptimo de los proveedores de servicios en un plano homogéneo como un problema de programa entero mixto (PIM), ampliándose el modelo para resolver el caso de un plano heterogéneo.⁶⁴

Carga con energía renovable adicional

El sector del transporte es uno de los principales emisores de gases de efecto invernadero. La electrificación simultánea de los vehículos y la inversión en fuentes de energía renovables (FER) son necesarias para mitigar estas emisiones. La introducción a gran escala de FER intermitentes como la solar y la eólica plantea retos a los operadores de servicios públicos. Esto ofrece la oportunidad de tener una flota de autobuses eléctricos con batería (BEB) “Vehicle-to-Grid” (V2G) para superar estos retos.⁶⁵

Se ha desarrollado un modelo de optimización de Gurobi (es una suerte de tecnología de optimización de un software en la última etapa de su desarrollo) para simular la reacción de los operadores de red ante los cambios en los valores de carga y producción buscando el menor costo operativo en cada paso temporal. El modelo de optimización se integra con un modelo de consumo energético de BEB. Los dos modelos interactúan para mantener de forma óptima la carga necesaria para la flota de BEB y soportar la carga de la red. Sin ninguna estrategia de SC, el costo externo total de la red eléctrica y de las emisiones de los autobuses disminuye un 3,42%, y con las estrategias de SC estos costos caen un 5,64%.

Además, con las estrategias SC, el gestor de la empresa eléctrica ahorra el 22% de su costo diario en este caso práctico. En general, el estudio ofrece vías prácticas para

utilizar conjuntamente fuentes de energía renovables y alternativas de movilidad eléctrica.⁶⁶

Con el aumento de la demanda de vehículos eléctricos, aumenta la necesidad de una infraestructura de recarga fiable para dar cabida a la rápida adopción pública de este tipo de transporte. La energía renovable, optimiza el pico de demanda de la red y hace eficientes las características de carga de la red. La bibliografía incluye varios estudios sobre el impacto de las cargas de recarga en la red. Por ejemplo, los impactos de los VE en la red de distribución, y los efectos de la infraestructura de carga a gran escala en la pérdida total del sistema. se utiliza un modelo probabilístico para investigar los impactos incrementales de la carga de VE en la red de distribución.⁶⁷

Los vehículos eléctricos (VE) desempeñarán sin duda un papel importante a la hora de abordar los retos energéticos y medioambientales en la situación actual; sin embargo, el problema de la ubicación de las estaciones de recarga de VE se plantea como una de las cuestiones clave de la estrategia de lanzamiento de VE, mientras que para el caso de la ubicación de las estaciones de recarga de VE, es necesario tener en cuenta más factores de influencia y restricciones, ya que los VE tienen algunos atributos especiales. El tiempo mínimo de recarga de un VE suele ser superior a 30 minutos, por lo que el posible retraso debido a la espera o a la búsqueda de una estación disponible es uno de los factores de influencia más importantes.

Además, la intención de compra y uso de VE, que también afecta a la ubicación de las estaciones de recarga,⁶⁸ se distribuye de forma desigual entre las regiones y debe tenerse en cuenta a la hora de modelizar. Sin duda, los VE desempeñarán un papel importante a la hora de afrontar los retos de la seguridad energética y los problemas del cambio climático y la contaminación atmosférica urbana. Sin embargo, la falta de infraestructura de recarga ha inhibido la compra y el uso de los VE, y muchos estudios existentes han destacado las estaciones de recarga como una de las barreras más importantes para la promoción de los VE.⁶⁹

Los países del Consejo de Cooperación del Golfo (CCG) se han comprometido a aumentar la proporción de energías renovables (ER) en su combinación energética global para reducir la dependencia económica de los combustibles fósiles. Los gobiernos y las autoridades reguladoras de los países del CCG están muy abiertos a la adopción de tecnologías de ER eficientes y aplicables de nuevo desarrollo para cumplir sus objetivos individuales de implementación de energías renovables mediante la integración multisectorial (es decir, generación de electricidad, transporte público, industria de alto consumo energético o desarrollo de edificios ecológicos). Es importante considerar las aplicaciones potenciales de las innovaciones más recientes en tecnologías de energías renovables y también resumir las políticas y medidas existentes en el CCG para la implementación de las energías renovables.

La tecnología solar fotovoltaica (FV) es una fuente de energía sostenible ya consolidada y, aunque se ha visto restringida por motivos económicos, el rápido descenso de los costos ha reducido el costo nivelado de la electricidad solar por debajo del de las fuentes de energía convencionales.⁷⁰

Los vehículos eléctricos y los vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV) son cada vez más importantes, ya que las ventas de vehículos eléctricos están aumentando rápidamente su cuota (2,2 %) del mercado mundial de vehículos. Se espera que, en 2040, el número de vehículos eléctricos en el mercado aumente hasta un 30%.

Dado que la energía solar es la fuente de electricidad de más rápido crecimiento, llamada a desplazar a los combustibles fósiles, se plantea el reto de identificar la superficie necesaria para producir miles de TWhs de electricidad. Ya se está investigando mucho sobre el diseño y la optimización de sistemas solares para cargar vehículos eléctricos como estrategia sostenible, incluso en el lugar de trabajo, ya que los vehículos eléctricos podrían integrarse en la red para resolver los problemas de intermitencia mediante implantaciones de "vehículo a red". Además, los estudios

técnicos han demostrado la viabilidad del enfoque.⁷¹ El generador de biomasa se podría utilizar como fuente principal de generación de energía en algunas zonas, mientras que el generador de celdas de combustible se utilizaría como generador de reserva, en caso de que el generador de biomasa no pueda satisfacer las necesidades energéticas de la zona de estudio. La energía sobrante puede utilizarse para producir hidrógeno, que será utilizado por las celdas de combustible⁷² para generar energía en lugar de utilizar baterías. Se ha propuesto una técnica de optimización multiobjetivo por enjambre de partículas (MOPSO) para resolver el problema de dimensionamiento de la micro red introducida a través de una perspectiva económica que es el costo de la energía (COE). El algoritmo MOPSO intenta mitigar el COE a los valores más bajos manteniendo la probabilidad de pérdida de suministro eléctrico (LPSP) lo más baja posible. Asimismo, se han realizado análisis estadísticos para estudiar la precisión de los resultados de la técnica introducida.⁷³

Pérdida de carga y cargas adicionales - Pérdida de carga y descarga de vehículos eléctricos

La integración descoordinada de vehículos eléctricos (VE) deteriora considerablemente el rendimiento operativo de una red de distribución. Para optimizar el rendimiento de la red de distribución en un entorno de carga de VE, se realiza un enfoque de optimización en dos etapas, que integra la carga coordinada de VE con la reconfiguración de la red. Se ha presentado una formulación para minimizar la pérdida de potencia del sistema, y se obtiene una solución óptima utilizando un algoritmo de optimización de enjambre de partículas binario.

El enfoque propuesto se prueba en un sistema de prueba de nodos de media tensión IEEE 33-bus modificado, acoplado a una red de distribución de baja tensión. Los resultados de la carga de VE coordinada y no coordinada se comparan con los del enfoque integrado desarrollado, y se estudia el rendimiento operativo del sistema. La integración de la reconfiguración de la red con la carga coordinada de VE disminuye

significativamente las pérdidas de potencia de la red y mejora bastante el perfil de tensión, de manera que, la estrategia adecuada puede mejorar el rendimiento operativo del sistema al tiempo que se hace frente a la creciente penetración de los VE en la red.⁷⁴

Discusión

Las emisiones de los vehículos con motor de combustión interna son una de las principales causas de la contaminación atmosférica y del cambio climático. En los últimos años, los vehículos eléctricos (VE) se están convirtiendo en una alternativa más sensata a estos vehículos ICE. Con los recientes avances en la tecnología de las baterías y la producción a gran escala, los VE son cada vez menos costosos. En un futuro próximo, el despliegue masivo de vehículos eléctricos ejercerá una gran presión sobre el sistema eléctrico actual.

La programación óptima de los vehículos eléctricos puede reducir la presión sobre la red existente y, al mismo tiempo, dar cabida a la integración a gran escala de los vehículos eléctricos. La integración de estos VE puede proporcionar varios beneficios económicos a los distintos agentes del mercado energético.

Los trabajos recientes relacionados con la integración de VE con EPS se clasifican en función de su relevancia para los distintos agentes del mercado eléctrico. Esta clasificación se refiere a cuatro agentes: la empresa de generación (GENCO), el operador del sistema de distribución (DSO), el agente de VE y el usuario final.⁷⁵ Otra clasificación se basa en las estrategias de programación o carga utilizadas para la integración de los VE en la red. La electrificación del automóvil tendrá un enorme efecto en la red eléctrica a

Conclusión

Las tecnologías digitales, especialmente los sistemas cooperativos de transporte inteligente (C-ITS), tienen un enorme potencial para mejorar la seguridad vial, así como la eficiencia y el atractivo del transporte. Se está preparando un Plan para estimular el uso de tales tecnologías, en particular los enlaces de comunicación de vehículos entre sí y entre éstos y la infraestructura. También se está trabajando en la mejora de la tarificación vial, para que sea más justa y eficiente y refleje mejor los principios de "quien contamina paga" y "el usuario paga".

medida que aumente el consumo de energía. La creciente popularidad de los vehículos eléctricos conlleva un gran número de estaciones de recarga que tienen un impacto significativo en la red eléctrica. Para minimizar los efectos perjudiciales de la carga de los VE y aumentar la eficiencia de la integración de los VE en la red, es necesario establecer diferentes técnicas operativas para la integración en la red. La coordinación inteligente de la carga y descarga de los automóviles es esencial para que estas situaciones estén bajo control. El diseño optimizado de la red de energía renovable se realiza para garantizar que la estación de carga del VE disponga de un amplio suministro eléctrico. Las tecnologías Vehicle to Grid (V2G) son también un enfoque eficiente y rentable para integrar los VE en las redes eléctricas.⁷⁶

Para abordar el estado del arte en los campos relacionados, este estudio presenta de manera efectiva el modo de reparto de energía para el despliegue V2G entre los VE y las redes eléctricas y el enfoque de programación. Este documento ofrece una visión clara de la industria del VE, la infraestructura de recarga y el efecto de la recarga de VE en la red.

Se ha analizado el mercado de la energía, teniendo en cuenta el papel de los oferentes de VE y de sus compradores personales, y se investigan numerosos algoritmos de optimización de la red de VE-sistemas conectados. El documento también ofrece una visión general sobre el impacto de la integración de las redes de VE y la evolución de la red eléctrica hacia la energía sostenible y la influencia de los VE, apoyando el futuro crecimiento energético. Por último, evalúa y esboza las cuestiones y recomendaciones para el crecimiento potencial del sistema de recarga de VE y de integración en red.⁷⁷

Esto incluye normas comunes para un sistema de tarificación basado en la distancia en la UE. también se debe adoptar nuevas medidas para fomentar los enlaces entre los distintos modos de transporte, ayudando a crear cadenas logísticas sin fisuras. El transporte en la UE sigue dependiendo del petróleo para aproximadamente el 94% de sus necesidades energéticas. A través de la Estrategia, se estudia cómo acelerar el uso de energías alternativas de bajas emisiones, como los biocombustibles avanzados, la electricidad, el hidrógeno y los combustibles sintéticos renovables, ofreciendo fuertes incentivos a la innovación. Con estas medidas políticas, la cuota de energía de bajas emisiones podría aumentar, proporcionando en torno al 15-17% de la demanda energética del transporte en 2030 y sustituyendo a los productos derivados del petróleo. También se está estudiando la posibilidad de mejorar las sinergias entre los sistemas de energía y transporte, por ejemplo, abordando los problemas de distribución de electricidad en horas pico. Esto facilitaría la recarga de los vehículos eléctricos. Se ha propuesto y ya se ha aplicado algunas mejoras importantes sobre cómo medir y verificar las emisiones de los vehículos. Esta es una condición previa necesaria para garantizar que las normas tengan impacto y que los consumidores puedan confiar en ellas. La Comisión está trabajando en las normas posteriores a 2020 para vehículos tipo turismos y furgonetas.

Las emisiones de los motores de combustión convencionales deberán seguir reduciéndose después de 2020. Los vehículos con cero o bajas emisiones tendrán que implantarse y ganar una cuota de mercado significativa. Su despliegue mejorará significativamente la calidad del aire, en particular en las ciudades. Junto con esta Estrategia, Así que se pone en marcha una consulta pública para revisar el actual marco legislativo de las normas aplicables a automóviles y furgonetas después de 2020. Para apoyar la demanda de los usuarios, se está trabajando en la mejora de la información al cliente, por ejemplo, mediante la revisión de la Directiva sobre el etiquetado de los automóviles, y en incentivos en las normas de contratación pública, en el contexto de una revisión de la Directiva sobre vehículos limpios. Esto puede ser una herramienta muy poderosa para apoyar el despliegue, por ejemplo, de autobuses urbanos de emisiones cero. Se debe acelerar los trabajos para reducir las emisiones de dióxido de carbono de camiones, autobuses y taxis. En la actualidad representan alrededor de una cuarta parte de las emisiones de dióxido de carbono del transporte por carretera y su proporción va en aumento.

Aunque los camiones, autobuses y taxis han estado sujetos a normas de contaminación atmosférica similares a las de los vehículos y furgonetas, y ahora se les exige que las cumplan en condiciones reales de conducción, la UE no tiene normas de eficiencia de combustible para ellos, ni sistema para controlar sus emisiones de dióxido de carbono. Otras partes del mundo, como Estados Unidos, China, Japón y Canadá, ya han introducido normas, y algunos fabricantes europeos participan en estos sistemas. Junto con esta Estrategia, Se ha puesto en marcha una consulta pública que se centra principalmente en el seguimiento y la notificación de las emisiones, pero también busca una primera respuesta sobre las normas.

La UE se ha comprometido a alcanzar un acuerdo para hacer frente a las emisiones de la aviación internacional mediante un mecanismo mundial basado en el mercado. Esta y otras medidas, como la norma internacional sobre dióxido de carbono recientemente acordada para las nuevas aeronaves, pretenden garantizar el crecimiento neutro en carbono de la aviación internacional a partir de 2020. La UE se ha comprometido a conseguir un acuerdo mundial obligatorio para la recogida y notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del transporte marítimo internacional. Esto debe complementarse con un acuerdo internacional sobre un objetivo de reducción de emisiones para el sector del transporte marítimo. La UE ya cuenta con una legislación que obliga a los buques que utilicen los puertos de la UE a controlar, notificar y verificar sus emisiones a partir de 2018. En caso de acuerdo internacional, la UE podría adaptar esta legislación a un sistema mundial.

References

- 1.- Marschoff CM. (1986) Prospects for hydrogen energy systems in Argentina. *Int. J. Hydrogen Energy* 11(5) 317-319.
- 2.- Marschoff C.M. (1992). Fondo de Cultura Económica de Argentina. Las fuentes de energía en el siglo XXI.
- 3.- Terneus EA., Coppola L., Marschoff CM. (1997) Technology substitution in the energy market: the logistic approach revisited. *Energy Convers. Mgmt.* 38(5)415-441.
- 4.- Marschoff CM (2018), *Earth dialogue*, Green Cross. Argentina. (1-21).
- 5.- <https://unfccc.int/es/news/los-ministros-de-la-cop27-piden-una-accion-climatica-mas-ambiciosa>.
- 6.- Santos G. (2017). Road transport and CO₂ emissions; What are the challenges? *Transport Policy*, 59, 71-74.
- 7.- Zhao Li, Xi X, Na Q, Wang S. (2021). The technological innovation of hybrid and plug-in electric vehicles for environmental carbon pollution control. *Environmental Impact Review*, (86) 106506. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106506>.
- 8.- Rodríguez M, Vásquez A, Sarmiento A, Millet Z. (2017). Renewable Energy Sources and local development. *International Journal of Social Sciences and Humanities*, 1(2) 10-19
- 9.- https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/nl/MEMO_16_2497.
- 10.- Li H, Dai J, Wang A, Zhao S, Ye H. (2020). Recycling and Treatment of Waste batteries. *Mater, Sci. Eng.* 612, 052020.
- 11.- Rugeri M et al. (2021). Electric mobility in a smart city: European overview. *Energies* 14(2) 315-344.
- 12.- Márquez J, Márquez OP, Weinhold E, Márquez K. (2021). Hydrogen from Solar Energy with Electrochemistry- *Revista de Ingeniería y Tecnología Educativa (RITE)*. 4(1)11-27.
- 13.- López-Rivera SA, Fontal B, Márquez OP, Márquez J. (2005). High Pressure conductivity and fotoconductivity of polyveraroles. *Polymer Bulletin*. 54 (4-5) 291-301.
- 14.- Márquez J, Márquez OP. (2019). Solar Energy and Electrochemistry in the book “Recent advances in Electrochemical Research”, Rolando Tremont editor, Kerala, India, 169-222, ISBN:978-81-7895-545-2.
- 15.- Wang Y, Díaz DF, Chen KS, Wang Z, Adroher XC. (2020). Materials, technological status, and fundamentals of PEM fuel cells - A review. *Materials Today*, 32. 178-203.
- 16.- Science-Division, Environmental Science - Informe (2020). CO₂ Emissions. Oak Ridge Laboratory, Tennessee, USA.
- 17.- Du H, Chen Z, Peng B, Southworth F, Ma S, Wang Y. (2019). What drives CO₂ emissions from the transport sector *Energy*, 175, 195-204.

- 18.- Pietrzak K, Pietrzak O. (2020). Environmental Effects of Electromobility in a Sustainable Urban Public Transport. *Sustainability*, 12 (3) 1052-1073.
- 19.- Mackenzie W. (2021). 700 million electric vehicles will be on the roads by 2050. Artículo de prensa, 2 páginas (mayo de 2021).
- 20.- Global-EV. (informe 2021). Accelerating ambitions despite the pandemic. International Energy Agency, International Energy Agency, Brussels, 1-101.
- 21.- Barnet J. (Informe 2021). Energy Security and Resilience, NREL, Brussels.
- 22.- Xu L, Wang Y, Shah SAA, Zameer H et al. (2019). Economic Viability and Environmental Efficiency Analysis of Hydrogen production., 7(8), 494-472.
- 23.- Márquez J, Márquez OP. (2018). Electroquimienergía. *Revista de Ingeniería y Tecnología Educativa-RITE*, 1(2) 9-26,
- 24.- Linderoth H. (2002). Forecast errors in IEA-countries' energy consumption. *Energy Policy*, 30(1), 53-61.
- 25.- https://www.dnv.com/energy-transition-outlook/download.html?utm_source=Google&utm_medium=Search&utm_campaign=eto22&gclid=CjoKCQjwz6ShBhCMARIsAH9AoqW3iZLu-8yhuCBnPik5uy1QEJeYrA6xhvsYuCVNCzr5hPsj4Hied74aAjOaEALw_wcB.
- 26.- Urpelainen J, Van de Graaf T. (2016). The renewable Energy agency: a success story in institutional innovation? *Law and economics*, 15, 159-177.
- 27.- Global Wind Farm Industry 2022-2026. <https://www.reportlinker.com/report-summary/Wind-Power/57078/Global-Wind-Farm-Industry.html>.
- 28.- González Martín MI. (2023). Energía solar térmica. Necesidad del seguimiento solar. <https://riubu.ubu.es/handle/10259/7297>.
- 29.- Filippin FA, Fasoli HJ. (2021). Photophysical and Photochemical systems with semiconductors for the conversion of Solar energy-A review. *Annales AFA*. 32 (1)22-31.
- 30.- Vieira DAG, Guedes LSM, Lisboa AC, Saldanha RR. (2015). Formulations for hydroelectric energy production with optimality conditions. *Energy Conversion and Management*, 89, 781-788.
- 31.- Schiel K, Baume O, Caruso G, Leopold U. (2016). GIS-based modelling of Sgallow geothermal energy potential for CO2 emission mitigation in urban areas. *Renewable Energy*. 86, 1023-1036.
- 32.- Rodrigues N, Pintassilgo P, Calhau F, Gonzalez-Gorbeña E, Pacheco A. (2021). Cost-benefit analysis of Tidal energy production in a coast, a lagoon. The case of Ria Formosa-Portugal. *Energy*, 229 (75)120812.
- 33.- Camporeale S. (2021). Wave Energy conversion-A Special Issue of Energies, Energy. This special issue belongs to the section wind, wave and Tydal Energy, <https://doi.org/10.3390/en16020874>.

- 34.- Slusarczyk B. (2020). Energy Transformation towards sustainability, electromobility for sustainable transport in Poland, in the book "Electromobility" Elsevier, Amsterdam, pp. 199-218, DOI: 10.1016/B978-0-12-817688-7.00010-0.
- 35.- Han C. (2020). Energy density issues of flexible energy storage devices. *Energy Storage Materials*, 28, 264-292.
- 36.- May N. (2018). Local environmental impact assessment as decision support for the introduction of electromobility in urban public transport system. *Transportation research Part D - Transport and Environment*, 64,192-203.
- 37.- Šarkan B, Loman M, Synák F, Skrúcaný T, Hanzl J. (2022) Emissions Production by Exhaust Gases of a Road Vehicle's Starting Depending on a Road Gradient. *Sensors (Basel)*. 22(24):9896. doi: 10.3390/s22249896. PMID: 36560263; PMCID: PMC9781685.
- 38.- Madina C, Zamora I, Zabala E. (2016). Methodology for assessing electric vehicle charging infrastructure business models. *Energy policy*, 89, 284-293.
- 39.- Bhatti G, Mohan H, Raja-Singh R. (2021). Towards the future of smart electric vehicles: Digital tween technology. *Renewable and sustainable Energy reviews*. 141, 110801.
- 40.- Khayyam H, Bab-Hadiashar A. (2014). Adaptive intelligent Energy management system of plug-in hybrid electric vehicle. *Energy*, 69, 319-335.
- 41.- Albatayneh A, Assaaf M, Alterman D, Jaradat M. (2020). Comparison of the overall energy efficiency for internal combustion engine vehicles and electric vehicles. *Environmental and climate technologies*, 24 (1) 669-680.
- 42.- Liu Y, Zhu Y, Cui Y. (2019). Challenges and opportunities towards fast charging battery materials. *Nat. Energy*, 4, 540-550.
- 43.- Mohtasham J. (2015). Review Article-Renewable Energies. *Energy Procedia*. 74, 1289-1297.
- 44.- Chudy A, Mazurek PA. (2019). Electromobility - The importance of power quality and environmental sustainability. *Journal of ecological Engineering*. 20 (10)15-23.
- 45.- Klos M. et al. (2019). Forecast and impact of electromobility development on the polish electric power system. *E3S web of conferences* 88, 01002019, Warsaw, Poland.
- 46.- Das HS, Rahman MM, Li S, Tan CW. (2020). Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120, 109618.
- 47.- Sperling D. (2018), Electric vehicles: Approaching the tipping point. *Bulletin of the atomic scientist*, 74 (1) 11-18.
- 48.- Benitez A. (2021). Ecological assessment of fuel cell electric vehicles with special focus on type IV carbon fiber hydrogen tank. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123277.
- 49.- Kinga S. (2021). Plug-in Hybrid Ecological Category in Real Driving Emissions. *Energies*, 14(8) 2340. <https://doi.org/10.3390/en14082340>.

- 50.- Xiao J. (2021). A review of pivotal energy management strategies for extended range electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149, 111194.
- 51.- Climent H. (2021). Exploiting driving history for optimizing the Energy Management in plug-in Hybrid Electric Vehicles. *Energy Conversion and Management* 234(2) 113919.
- 52.- Hu X. (2015). Longevity-conscious dimensioning and power management of the hybrid energy storage system in a fuel cell hybrid electric bus. *Applied Energy*, 137 (1) 913-924.
- 53.- Thor A. (2020). Evaluating system architectures for driving range estimation and charge planning for electric vehicle. *Journal of Software, Practice and Experience*. 51 (1) 72-79.
- 54.- Bedogni L. (2016). An integrated traffic and power grid simulator enabling the assessment of e-mobility impact on the grid: a tool for the implementation of the smart grid/city concept. *Journal of Engineering Sciences and Innovation*.1(1)73-89.
- 55.- Cherif R. (2021). Riding the energy transition: Oil beyond 2040. *Asian Economic Policy Review* 16 (1) 117-137.
- 56.- D Elia A. (2021). Impact of Interdisciplinary Research on Planning, Running, and Managing Electromobility as a Smart Grid Extension, *IEEE Access* 3 (1) 2281-2305.
- 57.- Skok S, Havaš LV, Radosevic V, Cvitanovic M. (2020). Impact of Electromobility to the Power Distribution System, *IEEE PES/IAS PowerAfrica, Conference, Nairobi, Kenya*, pp. 1-5; doi: 10.1109/PowerAfrica49420.2020.9219914.
- 58.- Kaufmann R. (2021). Feedbacks among electric vehicle adoption, charging and the cost and installation of rooftop solar photovoltaica. *Nat. Energy*. 6, 143-149.
- 59.- Zielinska A. (2020). Electromobility research: The impact of using renewable energy solutions on the development of electromobility. *Przeład Elektrotechniczny*, 1, 123-12 ISSN 0033-2097, R. 96 NR 12/2020.
- 60.- Minh P. (2021). Technical Economic Analysis of Photovoltaic-Powered Electric Vehicle Charging Stations under Different Solar Irradiation Conditions in Vietnam. *Sustainability* 2021, 13(6), 3528; <https://doi.org/10.3390/su13063528>.
- 61.- Xi W. (2021). Hybrid of fixed and mobile charging systems for electric vehicles: System design and analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*126, 103068.
- 62.- Chandra-Majhi R. (2020). A systematic review of charging infrastructure location problem for electric vehicles. *Transport Reviews*. 41(3) 1-25.
- 63.- Yao W et al. (2014). A Multi-Objective Collaborative Planning Strategy for Integrated Power Distribution and Electric Vehicle Charging Systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 29 (4), 1811-1821doi: 10.1109/TPWRS.2013.2296615.
- 64.- Wang Ch. (2021). Hybrid of fixed and mobile charging systems for electric vehicles: System design analysis,126, 103068.
- 65.- Wellik T. (2021). Utility-transit nexus: Leveraging intelligently charged electrified transit to support a renewable energy grid. *Renewable and sustainable. Energy Reviews*, 139, 110657.

- 66.- Karaca A. (2021). An integrated renewable energy based plant with energy storage for a sustainable community. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 45, 101217.
- 67.- Alkawssi G. (2021). a Local Electricity Market between Prosumers and Electric Vehicles. *Appl. Sci*, 11(9), 3847.
- 68.- Asensio OI, Lawson MC, Apablaza CZ. (2021). Electric vehicle charging stations in the workplace with high-resolution data from casual and habitual users. *Sci Data* 8, 168, 1-7. <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00956-1>.
- 69.- Liu K. (2014). Considering the dynamic refueling behavior in locating electric vehicle charging stations. *Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information*. 11(2).41-46.
- 70.- Elrahmani A. (2021). GCC region and future opportunities. *Current Opinion in Chemical Engineering*. 31, 100664.
- 71.- Sanjay J. (2021). Electric Vehicle Charging Potential from Retail Parking Lot Solar Photovoltaic Awnings. *Renewable Energy*, 169, 608-617.
- 72.- Chen Z. (2018). Batteries and fuel cells for emerging electric vehicle markets. *Nature Energy*, 3, 279-289.
- 73.- Fahd A. (2021). Sizing and Cost Minimization of Standalone Hybrid WT/PV/Biomass/Pump-Hydro Storage-Based Energy Systems. *Energies*, 14(2), 489; <https://doi.org/10.3390/en14020489>.
- 74.- Amin A. (2020). An integrated approach to Optimal Charging Scheduling of electric Vehicles Integrated with improved Medium-Voltage Network Reconfiguration for power Loss Minimization. *Sustainability*, 12, 921.
- 75.- Patil H, Kalkhambkar VN. (2021). Grid Integration of Electric Vehicles for Economic Benefits: A Review. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 9 (1) 13-26, doi: 10.35833/MPCE.2019.000326.
- 76.- Golla NK, Sudabattula SK. (2021). Impact of Plug-in electric vehicles on grid integration with distributed energy resources: A comprehensive review on methodology of power interaction and scheduling. *Materials Today: Proceedings*. doi:10.1016/j.matpr.2021.03.306.
- 77.- Wolinetz M, Axsen J, Peters J, et al. (2018). Simulating the value of electric-vehicle-grid integration using a behaviourally realistic model. *Nat Energy* 3, 132-139. <https://doi.org/10.1038/s41560-017-0077-9>.