

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE PENETRACIÓN DE ENERGÍAS  
RENOVABLES PARA PROMOVER LA MOVILIDAD SOSTENIBLE  
EN LA CIUDAD DE QUITO**

**ANÁLISIS DE ESCENARIOS DE PENETRACIÓN DE SISTEMAS  
RENOVABLES EN LA MATRIZ ENERGÉTICA ECUATORIANA  
PARA LA CARGA DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN LA CIUDAD  
DE QUITO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA MECÁNICA**

**MELANY ALEXANDRA DIBUJÉS VELASCO**

**[melany.dibujes@epn.edu.ec](mailto:melany.dibujes@epn.edu.ec)**

**DIRECTOR: SANTIAGO DAVID VACA JIMÉNEZ**

**[santiago.vaca@epn.edu.ec](mailto:santiago.vaca@epn.edu.ec)**

**DMQ, julio 2024**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Melany Alexandra Dibujés Velasco declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**MELANY ALEXANDRA DIBUJÉS VELASCO**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Melany Alexandra Dibujés Velasco, bajo mi supervisión.

---

**SANTIAGO DAVID VACA JIMÉNEZ**  
**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Melany Alexandra Dibujés Velasco

Santiago David Vaca Jiménez

## **DEDICATORIA**

Me gustaría dedicar este trabajo a mi familia, ya que son las personas más importantes en mi vida y mi motivación constante para cada logro académico y personal que alcanzo. Su amor y apoyo me inspiran a superar cualquier obstáculo y a crecer en todos los aspectos de mi vida. Cada abrazo y gesto de cariño que me brindan, se convierten en la energía que necesito para seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco principalmente a mi familia por apoyarme siempre. Han estado presentes en los momentos más lindos y, sobre todo, en los más difíciles. Nunca me han dejado ni me dejarán sola, y por ello, les estoy profundamente agradecida.

También quiero expresar mi gratitud a los amigos que he formado a lo largo de mi proceso en la universidad. Con ellos aprendí que cuando uno puede, todos podemos. Su apoyo y compañerismo han sido fundamentales en mi desarrollo académico y personal.

A mis amigos fuera de la universidad, quienes con el paso de los años se han convertido en mi familia, les agradezco por sus palabras de aliento que me han permitido confiar en mí misma y en lo que puedo lograr.

Finalmente, quiero agradecer a mis tutores académicos. Gracias a sus palabras y consejos, he podido fortalecer mis conocimientos y guiarme para culminar mi proceso universitario de manera correcta.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	V
RESUMEN .....	VI
ABSTRACT .....	VII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO .....	1
1.1 Objetivo general .....	1
1.2 Objetivos específicos .....	1
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco teórico .....	2
2 METODOLOGÍA.....	8
2.1 Definición del perfil de demanda eléctrica del 2022 .....	9
2.2 Definición de escenarios de carga de vehículos eléctricos.....	10
2.3 Definición de escenarios de crecimiento de vehículos privados en la ciudad 11	
2.4 Estimación de la variación de la demanda eléctrica.....	14
2.5 Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico en el software SAM para determinar el área fotovoltaica para cubrir el incremento de demanda de potencia .....	16
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	18
3.1 Resultados .....	18
3.2 Discusión .....	25
3.3 Conclusiones.....	28
3.4 Recomendaciones .....	29
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	29
5 ANEXOS.....	36
ANEXO I. Crecimiento vehicular.....	36
ANEXO II. Demanda energética vehicular .....	36
ANEXO III. Incremento de demanda eléctrica .....	37
ANEXO IV. Perfiles de demanda eléctrica .....	38

## RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular tiene como propósito analizar la variación en la matriz eléctrica resultante de la electrificación del transporte privado en la ciudad de Quito y evaluar la posibilidad de satisfacer el incremento en la demanda eléctrica mediante el uso de energía fotovoltaica. Esto se logrará determinando el perfil de demanda eléctrica actual y comparándolo con posibles proyecciones al 2050 cuando se considera escenarios de carga diurna en lugares de trabajo y carga nocturna en viviendas. Adicionalmente, se evalúan dos escenarios de crecimiento de vehículos eléctricos: uno que sigue la tendencia actual conocida como Business as Usual (BAU) y otro que proyecta una reducción del 25% en el crecimiento actual. Con esta información, se estima la variación de la demanda eléctrica debido a la electromovilidad. Para suplir esta nueva demanda se dimensiona un sistema fotovoltaico utilizando el software System Advisor Model (SAM) del Laboratorio Nacional de Energías Renovables de Estados Unidos (NREL). Los resultados indican que con un campo fotovoltaico de 10 km<sup>2</sup> es posible suplir el requerimiento energético para la carga de los vehículos eléctricos en la ciudad de Quito, específicamente en el escenario que contempla la carga en lugares de trabajo desde las 08h00 hasta las 17h00, para los dos escenarios de crecimiento vehicular planteados.

**PALABRAS CLAVE:** electromovilidad, consumo energético, demanda eléctrica, demanda energética, generación fotovoltaica

## **ABSTRACT**

The purpose of this research project is to analyze the variation in the electrical matrix resulting from the electrification of private transportation in the city of Quito and evaluate the possibility of satisfying the increase in electrical demand using photovoltaic energy. This will be achieved by determining the current electricity demand profile and comparing it with possible projections to 2050 when considering scenarios of daytime charging in workplaces and nighttime charging in homes. Additionally, two electric vehicle growth scenarios are evaluated: one that follows the current trend known as Business as Usual (BAU) and another that projects a 25% reduction in current growth. With this information, the variation in electrical demand due to electromobility is estimated. To meet this new demand, a photovoltaic system is sized using the System Advisor Model (SAM) software from the United States National Renewable Energy Laboratory (NREL). The results indicate that with a 10 km<sup>2</sup> photovoltaic field it is possible to supply the energy requirement for charging electric vehicles in the city of Quito, specifically in the scenario that contemplates charging in workplaces from 8:00 a.m. to 5:00 p.m., for the two vehicle growth scenarios proposed.

**KEYWORDS:** electromobility, energy consumption, electricity demand, energy demand, photovoltaic generation



# **1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO**

El 82% de la energía consumida en el mundo proviene de combustibles fósiles como el gas natural, carbón y petróleo [1]. La quema de estos combustibles fósiles es responsable del 91% de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global [2]. Esto contribuye significativamente a la crisis ambiental, que se manifiesta en la contaminación del aire y del agua, así como en el calentamiento global.

El sector del transporte consume aproximadamente el 28% de la energía total generada a nivel mundial. Esta demanda energética es principalmente cubierta por combustibles fósiles [3]. De esta forma, el crecimiento en la fabricación y comercialización de vehículos incrementa el consumo de petróleo y las emisiones, representando un 37% del total de gases de efecto invernadero a nivel mundial en 2022 [4].

La transición de la movilidad basada en combustibles fósiles hacia la electromovilidad se presenta como una opción de solución para mitigar la generación de gases de efecto invernadero. Sin embargo, la efectividad de esta acción en cuanto a la disminución de emisiones depende en gran medida de la matriz eléctrica a la que se conectan estos vehículos para su carga. Si la energía eléctrica empleada para cargar los vehículos eléctricos proviene de fuentes renovables, el impacto positivo sobre el medio ambiente será significativo. Por el contrario, si la electricidad sigue siendo generada predominantemente a partir de combustibles fósiles, no existiría mayor beneficio [4].

Por esta razón, la implementación de sistemas fotovoltaicos en las ciudades es considerada una opción para cubrir la demanda eléctrica por movilidad y consumo doméstico. Para definir su potencial y posible viabilidad se requiere un análisis de diferentes parámetros como crecimiento vehicular, factores de carga, demanda energética vehicular, demanda de potencia eléctrica e intermitencia de la energía solar.

## **1.1 Objetivo general**

Analizar escenarios de penetración de sistemas renovables en la matriz energética ecuatoriana para la carga de vehículos eléctricos en la ciudad de Quito.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Definir el perfil de demanda eléctrica de la ciudad de Quito.
2. Definir diferentes escenarios de introducción de vehículos eléctricos y situaciones de carga en la ciudad de Quito al 2050.

3. Estimar la variación del perfil de demanda eléctrica de la ciudad de Quito al 2050 con los escenarios planteados y la participación de la energía fotovoltaica en el proceso de carga.

### **1.3 Alcance**

El estudio se centra en una única ubicación dentro de la ciudad de Quito. Define el perfil de demanda eléctrica de un año de estudio actual, y proporciona proyecciones en intervalos de 10 años, específicamente para los años 2030, 2040 y 2050. Las proyecciones fueron realizadas con base a lo que se indica en datos oficiales del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) y del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

El estudio de crecimiento vehicular y demanda energética se centra en la movilidad privada de la ciudad de Quito. Es decir que se consideran vehículos eléctricos del tipo SUV y automóviles.

El proyecto plantea el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico utilizando el software System Advisor Model (SAM). Este sistema está diseñado para cubrir la demanda eléctrica proyectada al 2050, que considera el crecimiento en tendencia del consumo por habitante y el incremento debido a la introducción de vehículos eléctricos en la ciudad.

### **1.4 Marco teórico**

#### **Definiciones**

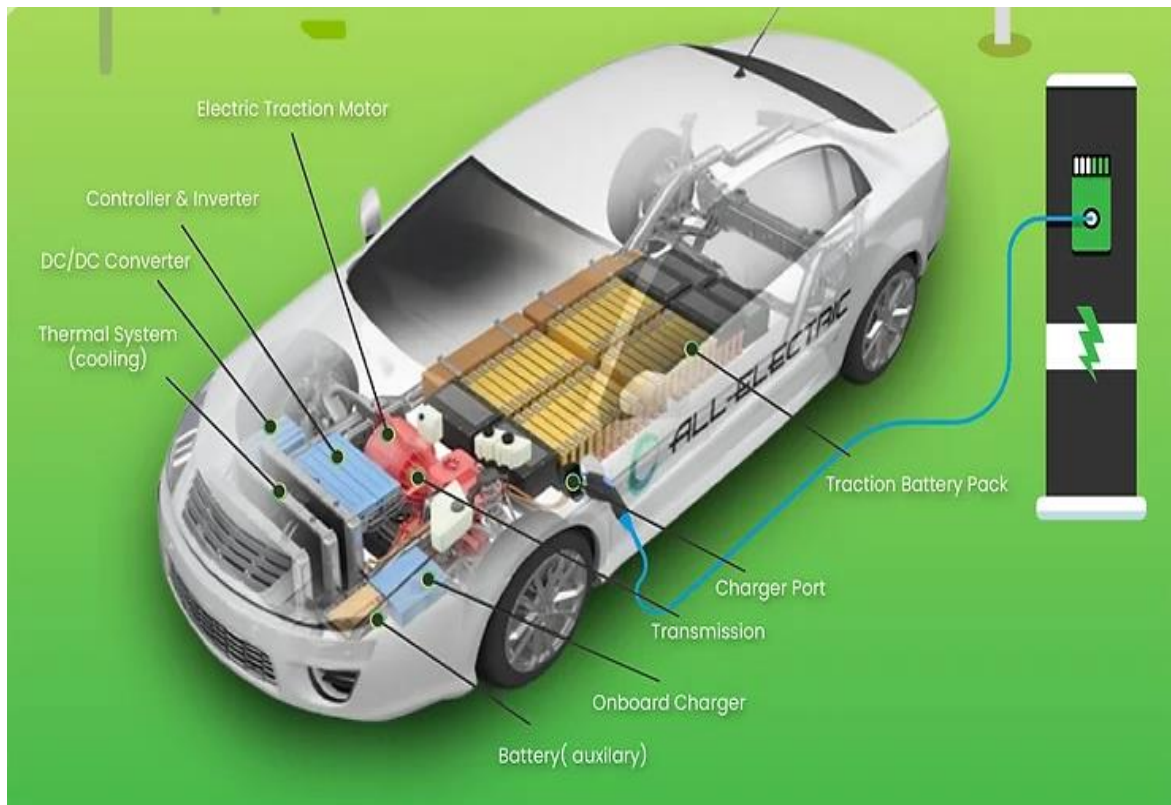
##### **Vehículos eléctricos**

Los vehículos eléctricos son medios de transporte terrestre que emplean como combustible la electricidad. Este tipo de vehículos contienen motores eléctricos que son activados por baterías cargadas por fuentes de energía eléctrica [5].

El empleo de energía renovable para la carga de vehículos eléctricos incrementa notablemente su eficiencia en comparación con los vehículos que utilizan combustibles fósiles. La eficiencia total, desde la producción de combustible hasta el movimiento del vehículo (well-to-wheel), de los vehículos de combustión interna varía entre el 11% y el 37%. En contraste, la eficiencia de los vehículos eléctricos fluctúa entre el 40% y el 70%, dependiendo de la fuente de energía y la ubicación de la generación de energía renovable. [6].

Los vehículos eléctricos constan principalmente de un paquete de baterías, un inversor/controlador y un motor eléctrico. El paquete de baterías se encuentra en una caja

metálica equipada con un sistema de gestión y enfriamiento. El inversor convierte la corriente directa de las baterías en corriente alterna para el motor y facilita el frenado regenerativo, y el motor transforma la energía eléctrica en energía mecánica. Otros componentes incluyen un cargador, un convertidor DC/DC y un sistema térmico para mantener los componentes a la temperatura adecuada [7]. Sus componentes principales pueden observarse en la Figura 1.1.



**Figura 1.1.** Componentes principales de un vehículo eléctrico

Fuente: [7]

Los vehículos eléctricos son cargados en electrolineras. Estas son estaciones que funcionan de manera similar a las estaciones de gasolina, pero en lugar de combustible fósil, suministran electricidad [8].

Existen diversas categorías de carga para vehículos eléctricos, entre las cuales se encuentra el nivel 1. Este nivel de carga requiere un conector doméstico de 120 V y proporciona una potencia que oscila entre 1.4 y 1.9 kW. Como resultado, los vehículos necesitan entre 8 y 12 horas para completar la carga en este nivel [9] [10]. Además, se presenta el nivel 2 como otra opción, cuya potencia de carga oscila entre 7 a 9.6 kW con conectores de 240 V. Por lo cual, este nivel requiere una instalación adicional de bajo costo en viviendas y trabajos para lograr la potencia de carga característica del nivel [5],

consiguiendo un menor tiempo de carga que va de 4 a 8 horas [10]. La elección del tipo de carga a implementar depende de varios factores, uno de ellos es el consumo energético del vehículo eléctrico que requiere el usuario. Para definir esto se utiliza un factor que expresa la autonomía de movilidad definida mediante la relación entre la capacidad energética de la batería con los kilómetros recorridos por el vehículo, por lo cual su unidad de medida común es kWh/100km [11]. El tipo de carga comúnmente utilizado en lugares de trabajo y hogares para vehículos eléctricos es el nivel 1.

### **Sistema de generación fotovoltaica**

Los sistemas de generación fotovoltaica producen electricidad a partir de la energía solar y se destaca por su bajo impacto ambiental [12]. Este sistema incluye paneles solares que convierten la luz en electricidad y un inversor que transforma la corriente continua de los paneles en corriente alterna para su uso [13][14]. Los sistemas fotovoltaicos se dimensionan según la capacidad del generador fotovoltaico y el inversor, el ángulo de inclinación y la latitud del lugar [15].

Los sistemas fotovoltaicos funcionan en relación con la variabilidad climática y fluctuaciones de radiación de un determinado lugar, por lo que provoca intermitencia en la generación de electricidad [16]. Es por esto, que la energía solar favorece las necesidades energéticas en horarios de luz solar, salvo que se utilice sistemas de almacenamiento, lo que permite contribuir en la red eléctrica, pero implica mayores costos de instalación [17]. En decir, la energía fotovoltaica sin almacenamiento no puede producir electricidad en las horas de la noche.

En Ecuador, la instalación de sistemas fotovoltaicos en hogares y lugares de trabajo debe regirse por el *Marco normativo de la generación distribuida para el autoabastecimiento de consumidores regulados de energía eléctrica* emitido por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR). Este documento define a un Sistema de Generación Distribuida para Autoabastecimiento de Consumidores Regulados (SGDA) como una instalación eléctrica que usa recursos renovables y se conecta a una red de distribución dentro del área de servicio del consumidor. La potencia del SGDA está regulada y puede ser de hasta 2 MW si esta es inyectada a la red eléctrica. Asimismo, se establece que la cantidad de electricidad generada en un año no debe exceder el consumo anual de energía de los consumidores regulados. Estas instalaciones deben aportar beneficios a la red eléctrica, tales como la reducción de pérdidas de electricidad y la mejora de la calidad del voltaje. Además, los sistemas fotovoltaicos pueden incorporar sistemas de almacenamiento de energía [18].

## Estado del Arte

A nivel mundial se están estableciendo diversas vías para la implementación de vehículos eléctricos. Esto debido a que son considerados como una alternativa para la incorporación de energías limpias en el sector del transporte, lo que ayudaría a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero [19].

Por ejemplo, en la Unión Europea, el Pacto Verde establece objetivos ambiciosos para 2030, incluyendo la reducción de un 55% en las emisiones de gases de efecto invernadero, la mejora de la eficiencia energética en un 30%, y el aumento del uso de energías renovables al 40% del consumo final de energía. Para alcanzar estos objetivos, se planea invertir en energía solar y eólica, promover la eficiencia energética, eliminar gradualmente los combustibles fósiles y adoptar modelos de negocio sostenibles [20]. Además, la Unión Europea cuenta con el Reglamento sobre la infraestructura de combustibles alternativos, que es una indicación política con la cual se pretende apresurar la implementación de instalaciones de carga de vehículos eléctricos. A su vez, ofrece apoyo fiscal, subsidios y más estímulos económicos que promueven la compra de este tipo de vehículos [21]. Como consecuencia, la adquisición de vehículos eléctricos se ha incrementado desde el 2010 hasta la actualidad en países europeos. Al 2023 la comercialización de estos vehículos constituye el 23% del total del parque automotor. Por lo cual, EY Building a better working world estima que para el 2030 existirían más de 75 millones de vehículos eléctricos en Europa. De la mano de este aumento en vehículos eléctricos, también se han incrementado los puntos de carga, logrando 744000 puntos al 2023 [22].

Por otro lado, Asia es el continente con los países que más consumen energía y, a su vez, son los más contaminantes del mundo [23]. Por esta razón, China ha implementado el sistema "cap and trade," que consiste en prohibir la creación de nuevas empresas dedicadas a la producción de vehículos con motor de combustión y obligar a las empresas existentes a fabricar una cantidad establecida de vehículos eléctricos [24]. Esta estrategia y otros proyectos como "Made in China 2025", le han permitido incrementar la fabricación y venta de vehículos eléctricos de manera significativa, representando el 57% de las ventas mundiales, con una proyección al 2050 de 36 millones de vehículos eléctricos al año [25].

Mientras tanto, en Ecuador, a pesar de que el país ha implementado varios incentivos económicos como estar exentos de pagar IVA, ICE y aranceles por la compra de vehículos eléctricos y además de no tener restricciones del Pico y Placa [26], estas estrategias no han sido suficientes, ya que las ventas de vehículos privados solo han alcanzado las 371 unidades al 2023 [27]. Además, el Ministerio de Energía del país indica que hasta el 2022

se han introducido 22 buses eléctricos en las principales ciudades del país, como Guayaquil, Quito y Cuenca [28]. Esto representa aproximadamente el 5% del parque automotor [29], demostrando que no existe un cambio significativo hacia una movilidad más limpia, segura y eficiente.

Un factor clave en la transición a la electromovilidad en el Ecuador es la falta de infraestructura de carga de vehículos. Ecuador cuenta con 94 puntos de carga en centros comerciales, parqueaderos, restaurantes, concesionarios, entre otros lugares públicos [30]. Sin embargo, las electrolineras no están en puntos estratégicos en rutas de largo recorrido, lo que representa una limitación significativa para los potenciales compradores. Esta falta de infraestructura adecuada dificulta que los conductores puedan realizar viajes prolongados con la seguridad de encontrar puntos de recarga accesibles y convenientes en su trayecto.

Por lo mencionado antes, en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), se han implementado el Proyecto Solutions+ Centro Histórico y el Plan Maestro de Movilidad. Estos planes buscan fomentar una mayor penetración de vehículos eléctricos en el parque automotor al restringir el acceso de vehículos en áreas con altos niveles de contaminación y tráfico, comenzando por el centro histórico y ampliándose gradualmente a otras zonas [31]. A su vez, el Plan de Acción de Cambio Climático de Quito (PACQ) promueve la electromovilidad a través de ordenanzas e incentivos del Municipio, con el objetivo de que los vehículos eléctricos representen el 75% de la movilidad privada para 2050 [32]. Sin embargo, no se considera de qué fuente de generación se obtendría la energía requerida para satisfacer la demanda eléctrica originada por la adopción de la electromovilidad.

En algunas partes del mundo se han llevado a cabo estudios sobre la factibilidad de implementar sistemas de generación de energía limpia para apoyar la electromovilidad. Un ejemplo de ello es un estudio empírico en Suiza en 2022, que analizó durante 10 meses la carga domiciliar y movilidad de vehículos de 78 personas. Los resultados mostraron que cargar durante las horas de mayor generación de energía podría cubrir el 41% de la demanda energética, mientras que, con un sistema fotovoltaico y almacenamiento en baterías, se podría cubrir hasta el 99% [33]. Aunque el resultado es prometedor, la implementación de un sistema de baterías para aumentar la capacidad de carga requiere una considerable inversión económica y tecnológica.

En Karnataka, India, Sambasivam y Sundararaman estudiaron cómo la carga de vehículos eléctricos afecta el sistema eléctrico en un entorno con alta penetración de energías renovables. Se consideraron dos escenarios: carga diurna y carga nocturna. El estudio

encontró que cargar los vehículos eléctricos por la noche es más amigable con el medio ambiente [34]. Sin embargo, a pesar de que la carga nocturna permite una mayor reducción de emisiones, la capacidad de carga en ese horario no se vería potenciada por energías renovables como la solar.

Hussien y Ahmed en Libia analizaron cómo las estaciones de carga de vehículos eléctricos con paneles solares pueden reducir la dependencia de la red y la huella de carbono, concluyendo que los avances en eficiencia de paneles y baterías mejoran su viabilidad [35]. En Canadá, una investigación de la Universidad de Victoria muestra que la carga controlada de vehículos eléctricos con energías renovables reduce costos y emisiones, siendo más efectiva en verano con solar y en invierno con eólica [36]. De manera similar, Al-Ghili, Kasim, Aris y Al-Hada demostraron que la integración de vehículos eléctricos con energía eólica y solar mejora la estabilidad de la red y reduce emisiones, aunque enfrenta desafíos como la variabilidad y la infraestructura de carga [37]. Esto resalta la necesidad de analizar la intermitencia de las energías renovables.

Por otra parte, en Shenyang, China, un estudio optimizó el equilibrio energético regional utilizando un modelo basado en la teoría de campo aleatorio de Markov. La simulación mostró que una red eléctrica multi-energética maximiza el uso de energías renovables y reduce la dependencia de energía tradicional [38]. De manera similar, en el Reino Unido, una simulación de sistemas de energía múltiple con tecnologías mixtas, como pilas de combustible y generadores fotovoltaicos, demostró que estas combinaciones pueden reducir significativamente las emisiones de carbono y los costos en un 12% [39]. Aunque estas redes son tecnologías avanzadas, su gestión y costos son complejos para muchos países.

Manousakis, Karagiannopoulos, Tsekouras y Kanellos revisaron 175 publicaciones sobre la integración de energías renovables y vehículos eléctricos, destacando la necesidad de más investigación en demanda energética, infraestructura de carga, gestión de energía, resiliencia de sistemas eléctricos, carga inalámbrica e impacto ambiental [40].

En Ecuador, la Universidad Central realizó un estudio que proyecta la demanda de energía en el sector transporte hasta 2050 en tres escenarios y utiliza simulaciones Montecarlo para manejar incertidumbres. En este estudio se revela que solo el 22.37% de la energía en transporte es utilizada eficientemente. Además, el estudio concluye que la descarbonización del transporte mediante electricidad es posible con un 60% de proyectos hidroeléctricos, pero se deben explorar otras fuentes renovables para evitar impactos

negativos [41]. No obstante, este estudio no evalúa la eficiencia energética de nuevas fuentes de generación que podrían ser implementadas en el país, como la energía solar.

Otro estudio fue llevado a cabo en Cuenca, el cual utiliza el software EnergyPLAN para definir y analizar escenarios de transición a la electromovilidad con datos de la disponibilidad de las fuentes renovables y los combustibles fósiles. Los resultados indican que la ciudad podría cubrir la demanda energética de transporte en un 37.3% con energía eólica, un 33.9% con energía solar y un 25.4% con energía hidroeléctrica [42]. Aunque el software muestra la capacidad de las fuentes renovables para satisfacer la demanda energética, no establece un plan de carga que permita utilizar esa capacidad de manera eficiente.

Pese a la existencia de estos estudios, no se ha realizado una investigación sobre la implementación de sistemas fotovoltaicos que permitan cubrir la demanda eléctrica por electromovilidad en Quito, considerando que en Ecuador la generación de energía eléctrica solar podría tener varias ventajas. Por ejemplo, en Quito la capacidad de generación eléctrica a partir de energía solar es de aproximadamente 4.4 kWh/m<sup>2</sup>/día [43] [44] que si bien no alcanza los 7.5 kWh/m<sup>2</sup>/día de Atacama en Chile [45], es superior a la capacidad de Alemania con alrededor de 2.6 kWh/m<sup>2</sup>/día [46]. Con esto, la ausencia de cambios drásticos en las estaciones climáticas (verano-inverno), y horas de sol relativamente constantes, se conseguiría estabilidad en la generación de energía fotovoltaica en el transcurso del año, adicional a la posibilidad de instalación de paneles con menor inclinación debido a su ubicación cercana a la línea ecuatorial [47].

El pico de mayor generación fotovoltaica se presenta en horas del mediodía, lo que permite cubrir la demanda eléctrica de ese horario y el incremento por electromovilidad al implementar sistemas y puntos de carga en hogares o lugares de trabajo que permitan facilitar este proceso en esas horas [48].

De esta forma, la introducción de electromovilidad en el DMQ, cuya demanda eléctrica sea cubierta por sistemas de generación fotovoltaica con procesos de carga en horas de mayor radiación solar, resultaría una alternativa de análisis para su implementación en los próximos años.

## **2 METODOLOGÍA.**

Para definir el perfil de demanda eléctrica actual de Quito, se recopilaron datos de las subestaciones eléctricas de la Empresa Eléctrica de Quito (EEQ) proporcionados por el CENACE. Los escenarios de carga de vehículos eléctricos se basaron en el uso de niveles

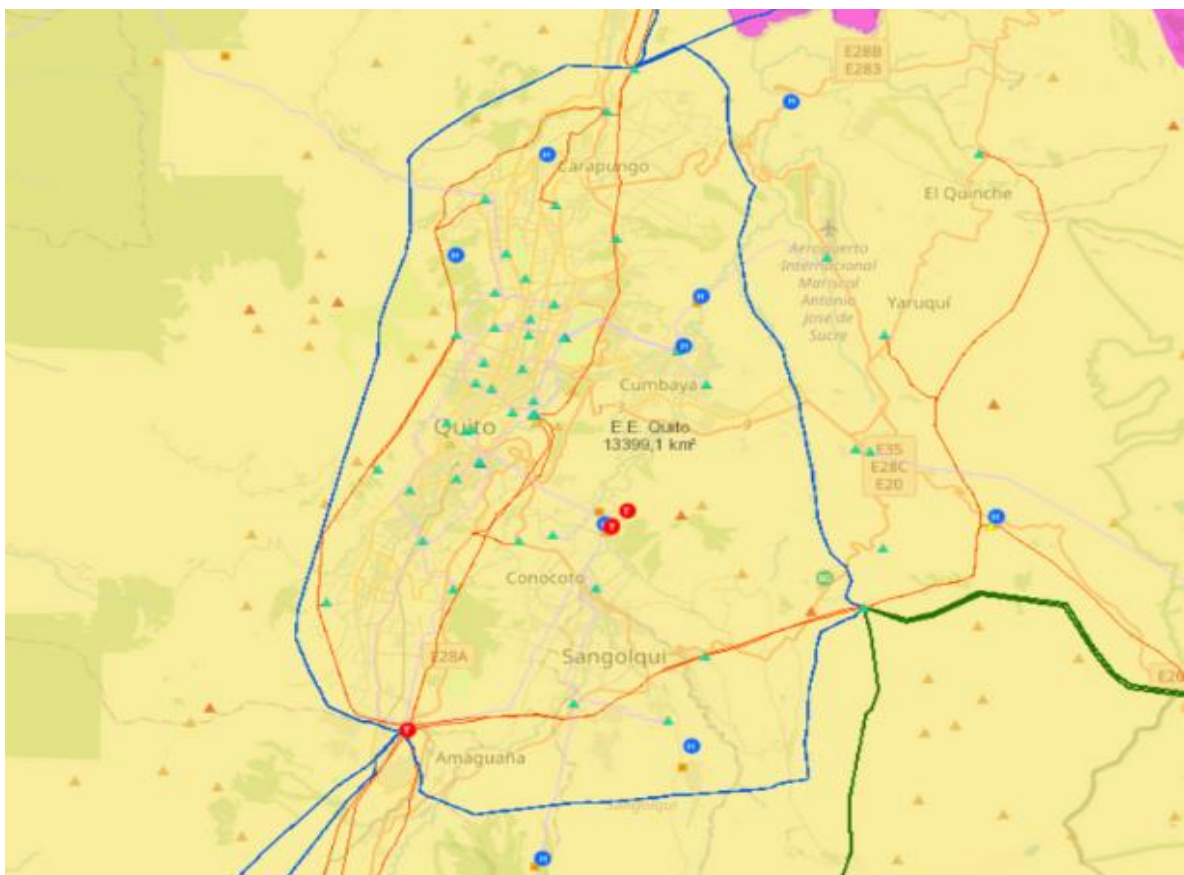


de carga 1 (carga lenta) y 2 (carga rápida), implementados tanto en viviendas como en lugares de trabajo. La variación de demanda eléctrica y crecimiento vehicular se estimaron en relación con el número de vehículos privados en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) y el escenario más ambicioso del Plan de Acción de Cambio Climático de Quito 2020 (PACQ).

Para estimar la variación del perfil de demanda eléctrica de Quito hasta 2050, se consideraron los escenarios planteados. Además, se dimensionó un sistema fotovoltaico utilizando el software System Advisor Model (SAM) para cubrir la demanda proyectada, incluyendo tanto la demanda base como el incremento debido a los vehículos eléctricos. Esta aproximación permite una visión del impacto de la electrificación del transporte privado en la demanda eléctrica y las posibles soluciones sostenibles para su gestión.

## 2.1 Definición del perfil de demanda eléctrica del 2022

En primera instancia, se delimitó el anillo de distribución eléctrica de la ciudad. Este puede observarse en la Figura 2.1.



**Figura 2.1.** Anillo de distribución eléctrica de la ciudad de Quito

Fuente: [49]

La red de distribución eléctrica transporta la electricidad desde las plantas generadoras hasta los consumidores finales, utilizando líneas de alta y media tensión para transmisión a largas distancias y líneas de baja tensión para la distribución local, con varias subestaciones y transformadores que ajustan los niveles de tensión en cada etapa del proceso. En este caso, el anillo fue definido por las líneas de transmisión de mayor capacidad que rodean la ciudad de Quito. La infraestructura eléctrica de la ciudad fue encontrada en el geoportal Geo SISDAT-Electricidad [49].

Los datos de demanda de potencia eléctrica fueron entregados por el Operador Nacional de Electricidad CENACE a través del Convenio de Cooperación Académica que tiene este organismo público con la Escuela Politécnica Nacional [50].

Los datos proporcionados se encuentran distribuidos por subestación eléctrica del país y hora del día, desde el año 2018 al 2022. Para definir el perfil de demanda de potencia se considera el 2022 como año de estudio, debido a la falta de datos de un año más actual y ser el año 2020 y 2021 años atípicos debido a la pandemia de COVID-19.

De los datos obtenidos se escogió las subestaciones eléctricas ubicadas dentro del anillo de distribución eléctrica. Con ello, fue posible definir el perfil de demanda eléctrica del 2022 de la ciudad de Quito.

## **2.2 Definición de escenarios de carga de vehículos eléctricos**

Se planteó varios escenarios de carga de vehículos eléctricos basados en las características de un sistema de carga, como por ejemplo el nivel y el tiempo.

Para el estudio se propuso usar los niveles 1 (lenta) y 2 (rápida) de carga, que se implementaría en viviendas y lugares de trabajo.

Se consideró trabajar con un sistema inteligente que administre el proceso de carga, distribuyendo la demanda de potencia de manera eficiente durante los horarios establecidos. Este estudio considera a este sistema inteligente como existente, y no se ocupó de definirlo o programarlo.

En base a esta información se plantean los siguientes escenarios de carga de vehículos eléctricos que serían implementados para el año 2050 en la ciudad de Quito:

1. Carga en la vivienda en el horario de 18h00 a 06h00 (12 horas de carga).
2. Carga en el lugar de trabajo en el horario de 08h00 a 17h00 (9 horas de carga).

3. Carga en la vivienda en el horario de 21h00 a 05h00 y en el lugar de trabajo en el horario de 10h00 a 16h00 (14 horas de carga).

## **2.3 Definición de escenarios de crecimiento de vehículos privados en la ciudad**

### **Número de vehículos privados en el DMQ para el año base**

Este estudio se centra solo en los vehículos SUV y Automóviles, los cuales se consideraron como movilidad privada de la ciudad, ya que son los más adquiridos por los quiteños para este tipo de movilidad.

Primero fue necesario calcular la cantidad de vehículos privados en el DMQ en el 2022, a partir de la Ecuación 2.1.

$$V_{Q\ 2022} = VM_{Q\ 2022} \times SUV_{Q\ 2022} + VM_{Q\ 2022} \times AUTOS_{Q\ 2022}$$

**Ecuación 2.1.** Estimación de vehículos privados en el DMQ en el año 2022

Donde:

$V_{Q\ 2022}$ : Vehículos privados en el DMQ en el año 2022

$VM_{Q\ 2022}$ : Vehículos matriculados en el DMQ en el 2022

$SUV_{Q\ 2022}$ : Distribución porcentual de vehículos SUV matriculados en el DMQ en el 2022

$AUTOS_{Q\ 2022}$ : Distribución porcentual de automóviles matriculados en el DMQ en el 2022

En el 2022 se matricularon 508316 vehículos en el DMQ, de los cuales el 35.7% fueron SUV y 28.5% Automóviles. Estos datos fueron extraídos del Informe de Calidad de Vida 2023 de Quito cómo vamos [51].

### **Primer escenario de crecimiento de vehículos privados en el DMQ (Business as usual BAU)**

El primer escenario se planteó considerando la misma tendencia de crecimiento de los vehículos privados hasta el 2022 (Business as usual BAU), en función de la población y vehículos matriculados en el DMQ. Por lo cual, se realizó una estimación de la cantidad de vehículos privados en el DMQ al 2050, basada en el número de personas que habitarían el país mediante la Ecuación 2.2.

$$V_{Q1\ 2050} = \frac{V_{Q\ 2022} \times H_{E\ 2050}}{H_{E\ 2022}}$$

**Ecuación 2.2.** Estimación de vehículos privados en el DMQ en el año 2050 del primer escenario

Donde:

$V_{Q1\ 2050}$ : Vehículos privados en el DMQ en el año 2050 del primer escenario

$H_{E\ 2050}$ : Habitantes en Ecuador en el año 2050

$H_{E\ 2022}$ : Habitantes en Ecuador en el año 2022

Con el objetivo de proporcionar un marco temporal más completo, se establecen dos puntos intermedios en la proyección de vehículos privados (los años 2030 y 2040). El crecimiento de vehículos en estos años se determinó con la función PRONÓSTICO en la herramienta de cálculo Excel, la cual realiza una predicción empleando el método de regresión lineal simple, a partir del número de habitantes en Ecuador y vehículos en los años de estudio.

El censo del 2022 indica que para ese año hubo 16938986 de personas [52]. Para la estimación de la cantidad de personas en Ecuador para el 2030, 2040 y 2050 se usa la proyección realizada por el INEC en el 2012, en la que se indica que la población ecuatoriana incrementaría a 19.8 millones de habitantes en 2030, 21.8 millones en 2040 y 23.4 millones en 2050 [53].

### **Segundo escenario de crecimiento de vehículos privados en el DMQ (Reducción vehicular del 25%)**

En el segundo escenario se establece una reducción del 25% de la tendencia de crecimiento del 2022, considerando que se podrían incrementar diferentes políticas que limiten el crecimiento del parque automotor debido a la necesidad de reducir la contaminación ambiental, congestión del tráfico, problemas de salud pública e incentivar el uso del transporte público y movilidad activa. Por lo cual, la cantidad de vehículos privados al 2050, fue determinada a partir de la Ecuación 2.3.

$$V_{Q2\ 2050} = \frac{V_{Q\ 2022} \times H_{E\ 2050}}{H_{E\ 2022}} \times 75\%$$

**Ecuación 2.3.** Estimación de vehículos privados en el DMQ en el año 2050 del segundo escenario

Donde:

$V_{Q2\ 2050}$ : Vehículos privados en el DMQ en el año 2050 del segundo escenario

La estimación de vehículos privados en el 2030 y 2040 fue determinada de igual forma que en el primer escenario.

### **Estimación de crecimiento de vehículos eléctricos y de combustión en el DMQ**

La estimación de vehículos eléctricos al 2050 se realizó considerando el escenario más ambicioso del Plan de Acción de Cambio Climático de Quito PACQ 2020. En este se proyecta que al 2030 la ciudad logrará reducir el 30% de sus emisiones de gases de efecto invernadero, 50% en el 2040 y 100% en el 2050. Esto podría lograrse a partir de la aplicación de 19 acciones y 27 subacciones, dentro de las cuales se encuentra la electrificación de vehículos privados. Esta acción consiste en que el 75% de los vehículos privados de la ciudad se transformarían a eléctricos en el 2050 [32].

Con eso, se determinó la cantidad de vehículos eléctricos al 2050 en los dos escenarios de crecimiento de vehículos privados, a partir de la Ecuación 2.4.

$$VE_{Q\ 2050} = V_{Q\ 2050} \times 75\%$$

#### **Ecuación 2.4.** Estimación de vehículos eléctricos en el DMQ en el año 2050

Donde:

$VE_{Q\ 2050}$ : Vehículos eléctricos en el DMQ en el 2050 de los dos escenarios de crecimiento

Por otra parte, los vehículos eléctricos al 2030 y 2040 de los dos escenarios de crecimiento fueron determinados a partir de una relación con la estimación de reducción de emisiones planteadas en el PACQ, mediante la Ecuación 2.5.

$$VE_{Q\ i} = \frac{RE_i \times VE_{Q\ 2050}}{RE_{2050}}$$

#### **Ecuación 2.5.** Estimación de vehículos eléctricos en el DMQ en el año 2030 y 2040

Donde:

$i$ : Años de estudio (2030 y 2040)

$VE_{Q\ i}$ : Vehículos eléctricos en el DMQ de los dos escenarios de crecimiento.

$RE_i$ : Impacto de la reducción de emisiones debido a la electrificación de vehículos privados basado en el PACQ.

La estimación de reducción de emisiones planteadas en el PACQ por la electrificación de vehículos privados puede visualizarse en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1.** Reducción de emisiones por electrificación de vehículos privados

Impacto de la reducción de emisiones		
2030	2040	2050
902 399 TM CO2e	769 252 TM CO2e	146 421 TM CO2e

Fuente: PACQ [32]

A partir de la cantidad de vehículos privados y el crecimiento de los vehículos eléctricos se determinó el decrecimiento de los vehículos de combustión a partir de la Ecuación 2.6, que considera el restante del crecimiento de vehículos en el DMQ que no se cubriría con vehículos eléctricos.

$$VC_{Qi} = V_{Qi} - VE_{Qi}$$

**Ecuación 2.6.** Estimación de vehículos de combustión en el DMQ en el año 2030, 2040 y 2050

Donde:

*i*: Años de estudio (2030, 2040 y 2050)

$VC_{Qi}$ : Vehículos de combustión en el DMQ de los dos escenarios de crecimiento.

## 2.4 Estimación de la variación de la demanda eléctrica

Primero fue necesario determinar el incremento de demanda de potencia eléctrica al 2050 sin electromovilidad, a partir de una estimación realizada considerando el crecimiento poblacional proyectado por el INEC en el 2012 [53], cuyos datos se verifican en el punto 2.3, mediante la Ecuación 2.7.

$$DP_{2050} = \frac{DP_{2022} \times H_{E 2050}}{H_{E 2022}}$$

**Ecuación 2.7.** Estimación de incremento de demanda de potencia eléctrica al 2050

$DP_{2050}$ : Demanda de potencia eléctrica en el año 2050.

$DP_{2022}$ : Demanda de potencia eléctrica en el año 2022.

Posterior a ello, se determinó la demanda energética por vehículo en función del porcentaje de vehículos privados matriculados en el DMQ y el promedio de consumo eléctrico de un vehículo eléctrico SUV y Automóvil, a partir de la Ecuación 2.8.

$$DED_{VE} = \frac{CE_{SUV} \times SUV_{Q\ 2022} + CE_{AUTO} \times AUTOS_{Q\ 2022}}{SUV_{Q\ 2022} + AUTOS_{Q\ 2022}}$$

**Ecuación 2.8.** Estimación de demanda energética diaria por vehículo

Donde:

$DED_{VE}$ : Demanda energética diaria por vehículo (kWh/km)

$CE_{SUV}$ : Consumo eléctrico diario por vehículo SUV (kWh/km)

$SUV_{Q\ 2022}$ : Distribución porcentual de vehículos SUV matriculados en el DMQ en el 2022

$CE_{AUTO}$ : Consumo eléctrico diario por automóvil (kWh/km)

$AUTOS_{Q\ 2022}$ : Distribución porcentual de automóviles matriculados en el DMQ en el 2022

Para esta ecuación se utilizó los datos de distribución porcentual de vehículos matriculados mencionados en la sección 2.3. Mientras que el valor promedio de consumo eléctrico de un vehículo eléctrico SUV y Automóvil fue determinado a partir de la ficha técnica de varios vehículos eléctricos que pueden verificarse en la Tabla 5.2 del Anexo II. Estos se encuentran en el parque automotor del país [54].

Con esto, la demanda energética anual de todos los vehículos proyectados al 2050, fue determinada a partir de la Ecuación 2.9.

$$DEA_{TOT} = DED_{VE} \times K_a \times VE_{Q\ 2050}$$

**Ecuación 2.9.** Estimación de demanda energética anual total

Donde:

$DEA_{TOT}$ : Demanda energética anual total (kWh)

$K_a$ : Kilometraje promedio recorrido por vehículo al año (km)

$VE_{Q\ 2050}$ : Vehículos eléctricos en el DMQ de los dos escenarios de crecimiento

El kilometraje común de vehículos en el DMQ suele varían en un rango de 15000 a 20000 km. Esto en base a recomendaciones de mantenimiento de expertos de la industria automotriz [55]. De esta forma para el caso de estudio se trabajó con 20000 kilómetros como recorrido promedio anual.

Finalmente, el incremento de la demanda eléctrica diaria debido a la introducción de vehículos eléctricos se determinó mediante la distribución de la demanda energética diaria

total entre las horas de carga de los tres escenarios planteados de manera previa, considerando la Ecuación 2.10.

$$ID_{2050} = \frac{DEA_{TOT}}{365 \text{ días} \times HC}$$

**Ecuación 2.10.** Estimación de incremento de demanda eléctrica diaria

Donde:

$ID_{2050}$ : Incremento de demanda eléctrica diaria por hora de carga (kW)

$HC$ : Horas de carga de cada escenario (h)

Una vez obtenido el incremento en la demanda eléctrica diaria debido a la introducción de vehículos eléctricos se determinó el total de la demanda al incluir este valor a los valores de demanda eléctrica promedios proyectados al 2050, en las horas de carga definidas.

## **2.5 Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico en el software SAM para determinar el área fotovoltaica para cubrir el incremento de demanda de potencia**

### **Dimensionamiento del sistema fotovoltaico base**

El excedente de demanda de potencia que se presentaría en los siguientes años debido a la introducción de vehículos eléctricos se propone cubrirlo a partir de la generación fotovoltaica. Por lo cual, se parte del dimensionamiento de un sistema fotovoltaico.

Primero se planteó un sistema base adecuado en el software SAM, de donde se obtuvo datos de demanda energética anual y el área total del sistema. Para ello, se escogió un tipo de módulo e inversor que logren ser correctamente adaptados con una relación DC a AC cercana a 1, cuyas características se presentan en la Tabla 2.2 y Tabla 2.3 respectivamente.

**Tabla 2.2.** Características del módulo escogido

<b>Potencia máxima (Pmp) [Wdc]</b>	<b>Voltaje a potencia máxima (Vmp) [Vdc]</b>	<b>Corriente a potencia máxima (Imp) [Adc]</b>	<b>Voltaje a circuito abierto (Voc) [Vdc]</b>
549.84	31.6	17.4	37.9

Fuente: [56]



**Tabla 2.3.** Características del inversor escogido

Voltaje mínimo MPPT DC [Vdc]	Voltaje nominal DC [Vdc]	Voltaje máximo MPPT DC [Vdc]	Voltaje máximo del inversor [Vdc]	Máxima potencia DC [Wdc]	Máxima corriente DC [Adc]
545	615	820	820	507000	849.817

Fuente: [56]

Posterior a esto, se determinó la cantidad, mínima y máxima, de módulos conectados en serie y paralelo bajo los parámetros del tipo de módulo e inversor escogidos. Esto a partir de la Ecuación 2.11, Ecuación 2.12 y Ecuación 2.13.

$$Mín_{serie} = \frac{Vmín_{Inversor}}{Vmp_{Módulo}}$$

**Ecuación 2.11.** Mínimo de módulos en serie

Donde:

$Mín_{serie}$ : Mínimo de módulos en serie

$Vmín_{Inversor}$ : Voltaje mínimo MPPT DC del inversor (Vdc)

$Vmp_{Módulo}$ : Voltaje a potencia máxima del módulo (Vdc)

$$Máx_{serie} = \frac{Vmáx_{Inversor}}{VOC_{Módulo}}$$

**Ecuación 2.12.** Máximo de módulos en serie

Donde:

$Máx_{serie}$ : Máximo de módulos en serie

$Vmáx_{Inversor}$ : Voltaje máximo MPPT DC del inversor (Vdc)

$VOC_{Módulo}$ : Voltaje a circuito abierto del módulo (Vdc)

$$Máx_{paralelo} = \frac{Imáx_{Inversor}}{Imp_{Módulo}}$$

**Ecuación 2.13.** Máximo de módulos en paralelo

Donde:

$Máx_{paralelo}$ : Máximo de módulos en paralelo

$Imáx_{Inversor}$ : Máxima corriente DC del inversor (Adc)

$Imp_{Módulo}$ : Corriente a potencia máxima (Adc)

Por otra parte, el programa requiere que se establezcan parámetros de seguimiento y orientación de los módulos fotovoltaicos. Por lo cual, conociendo que el sistema sería implementado en la ciudad de Quito, se escogió módulos fijos con 5 grados de inclinación orientados al este de la ciudad, debido a la salida del sol por esa dirección. Debido a la inclinación indicada y de acuerdo con las indicaciones del Manual de SAM, se consideró una relación de cobertura del suelo (GCR) cercana a 1 (0.99 es el valor máximo que permite el software) [56].

De esta forma, se obtuvo la demanda energética anual y el área de implementación del sistema base.

Por lo tanto, el área total de instalación fotovoltaica que se requiere para cumplir con la demanda energética anual total se determinó a partir de la Ecuación 2.14.

$$\text{Área } FV_{TOT} = \frac{DEA_{TOT}}{DEA_{SIST. BASE}} \times \text{Área } FV_{SIST. BASE}$$

**Ecuación 2.14.** Área fotovoltaica total de instalación

Donde:

$\text{Área } FV_{TOT}$ : Área fotovoltaica total de instalación (km<sup>2</sup>)

$DEA_{SIST. BASE}$ : Demanda energética anual del sistema base (kWh)

$\text{Área } FV_{SIST. BASE}$ : Área fotovoltaica del sistema base (km<sup>2</sup>)

En función del área total de instalación requerida para cubrir el incremento de demanda eléctrica debido a la introducción de movilidad eléctrica, se construye el perfil de generación fotovoltaica, considerando los valores de potencia extraídos del software SAM.

### 3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 Resultados

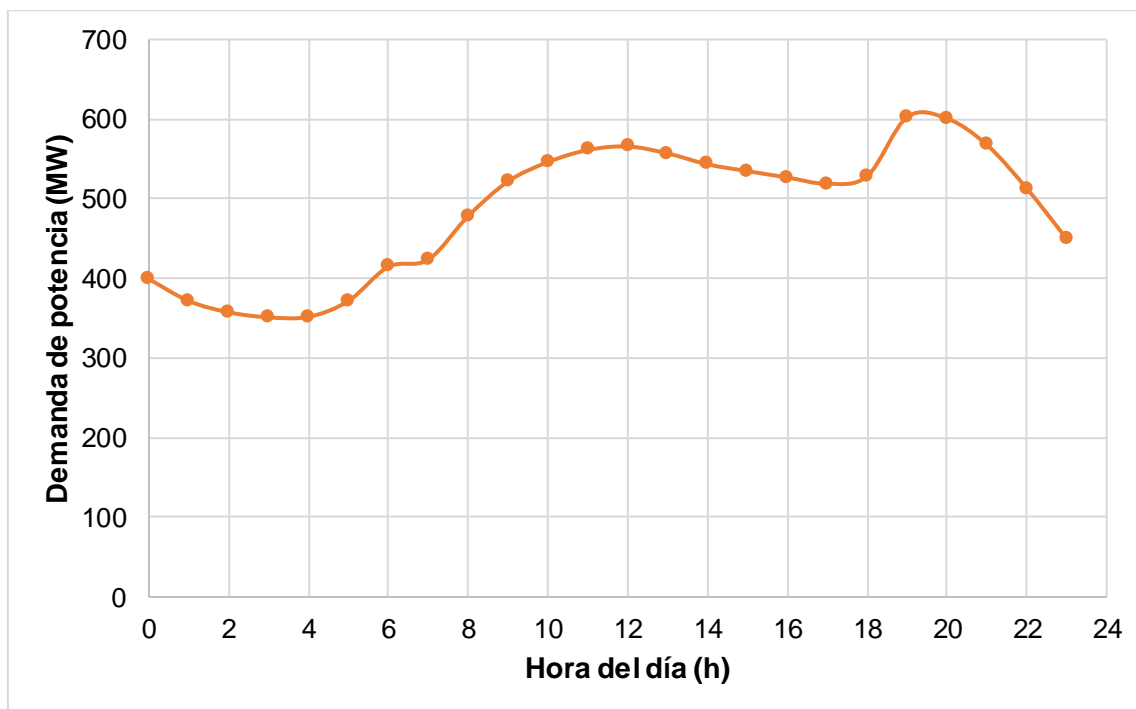
Mediante la metodología establecida de manera previa se han obtenido los resultados presentados a continuación.

## Perfil de demanda de potencia actual

Las subestaciones eléctricas que se encuentran dentro del anillo de distribución eléctrica de Quito, mismas que se consideraron en la definición del perfil de demanda eléctrica actual son las siguientes:

- Alangasí
- Conocoto
- Gualo
- El Inga
- Pomasqui
- Santa Rosa
- Vicentina

En la Figura 3.1 se muestra el perfil de demanda de potencia promedio del 2022 en la ciudad de Quito. La gráfica muestra dos picos principales: uno en la mañana y otro en la tarde, alcanzando su máximo alrededor de las 19h00 con más de 600 MW. La demanda mínima se observa entre las 00h00 y 06h00, en torno a 350 y 400 MW. Este comportamiento refleja la actividad residencial y comercial diaria.

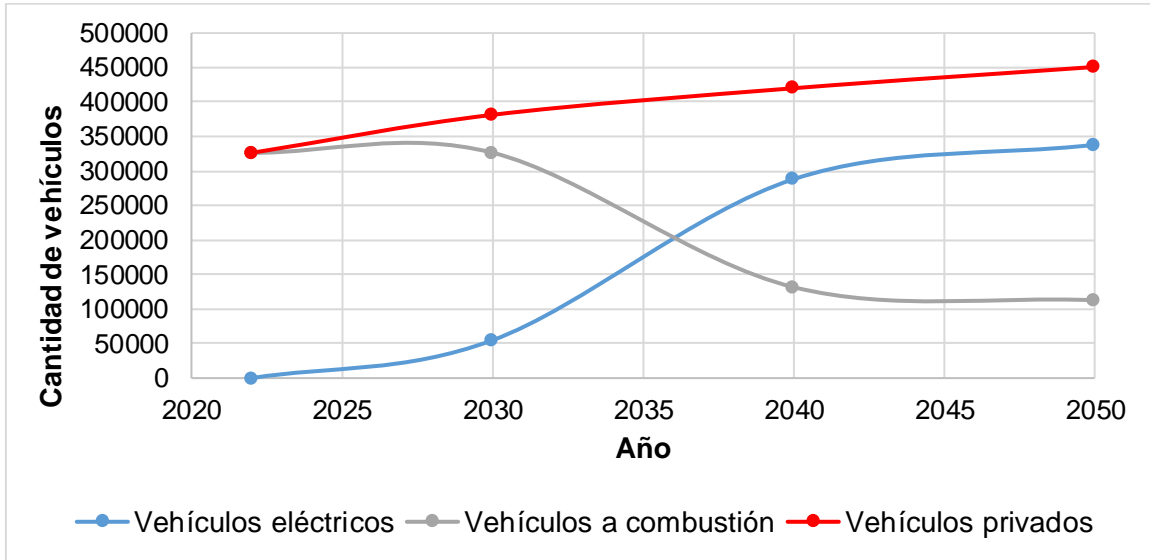


**Figura 3.1.** Perfil promedio de demanda de potencia del año 2022, considerando los datos de demanda de las subestaciones del anillo de distribución eléctrica de la ciudad de Quito.

Fuente: Propia

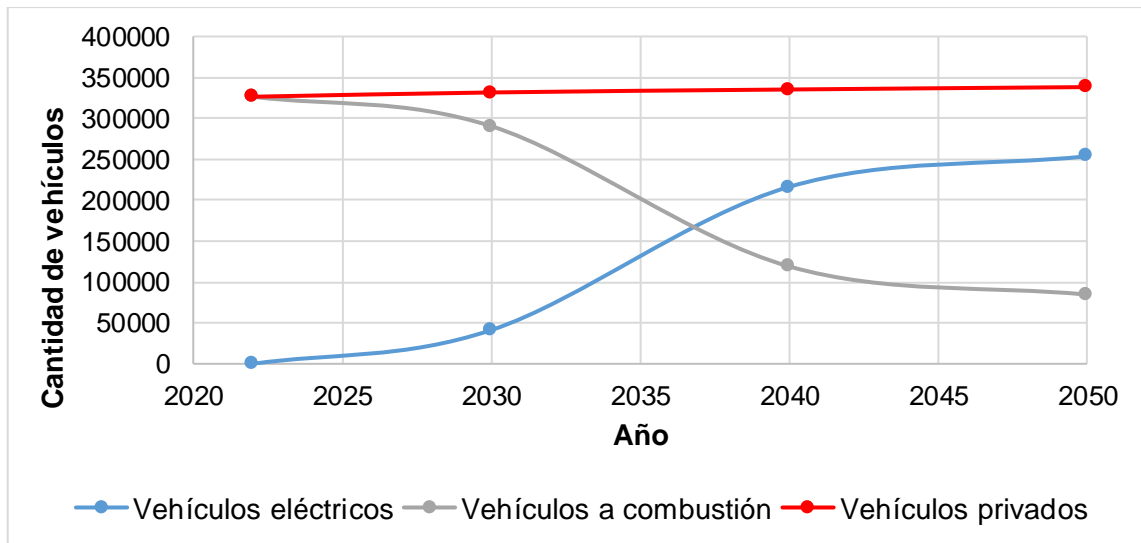
### Escenarios de crecimiento de vehículos privados en la ciudad

En función de la población actual y la proyectada al 2050 en Ecuador, se obtuvo que al 2050 los vehículos eléctricos incrementarían a 338110 para el primer escenario y 253583 para el segundo. El crecimiento de vehículos privados considerando la variación de vehículos eléctricos y de combustión para los dos escenarios planteados, puede verificarse en la Figura 3.2 y la Figura 3.3.



**Figura 3.2.** Proyección del número de vehículos privados en Quito hasta el año 2050, según un escenario de crecimiento vehicular Business As Usual (BAU).

Fuente: Propia



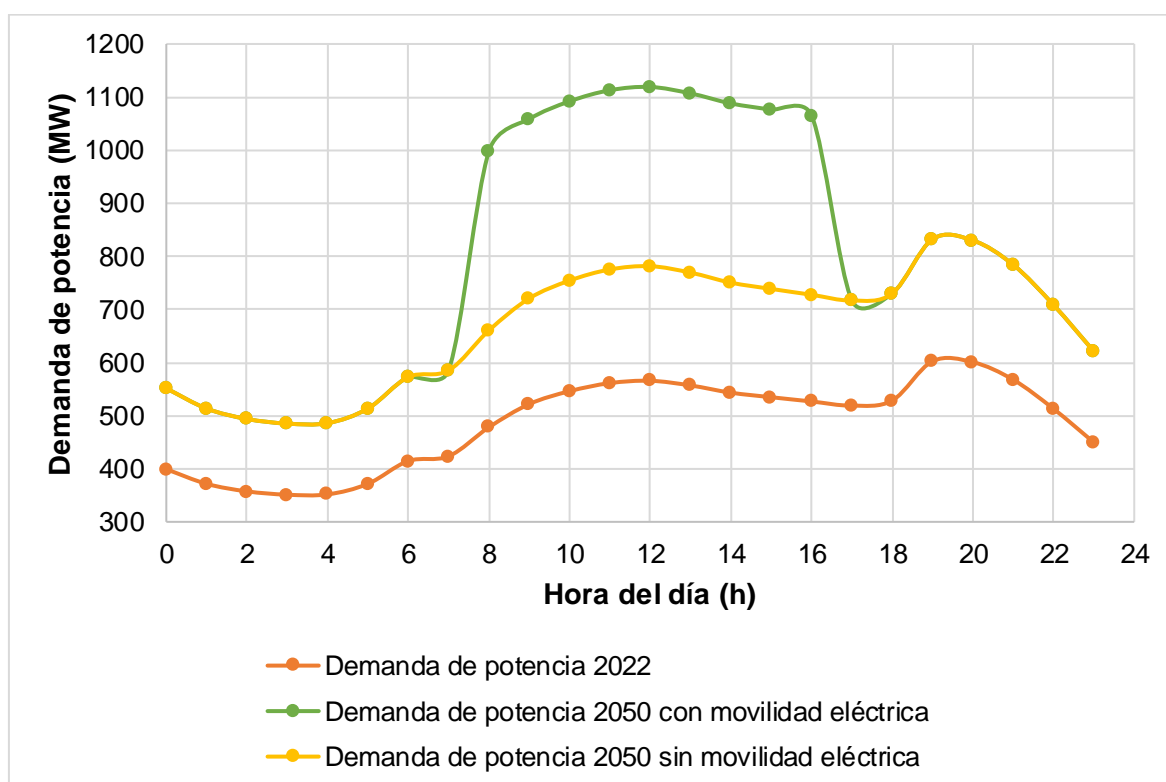
**Figura 3.3.** Proyección del número de vehículos privados en Quito hasta el año 2050, según un escenario de reducción del 25% del crecimiento vehicular.

Fuente: Propia

Tanto la Figura 3.2 como la Figura 3.3 proyectan un cambio significativo en la composición del parque vehicular hasta 2050, mostrando un aumento considerable de vehículos eléctricos y una disminución de vehículos a combustión. Para 2040, los vehículos eléctricos superan en número a los de combustión en los dos escenarios. Esta tendencia refleja un movimiento hacia la sostenibilidad, lo que implicará la expansión de la infraestructura de carga y un impacto económico en la industria automotriz y los sectores de combustibles fósiles.

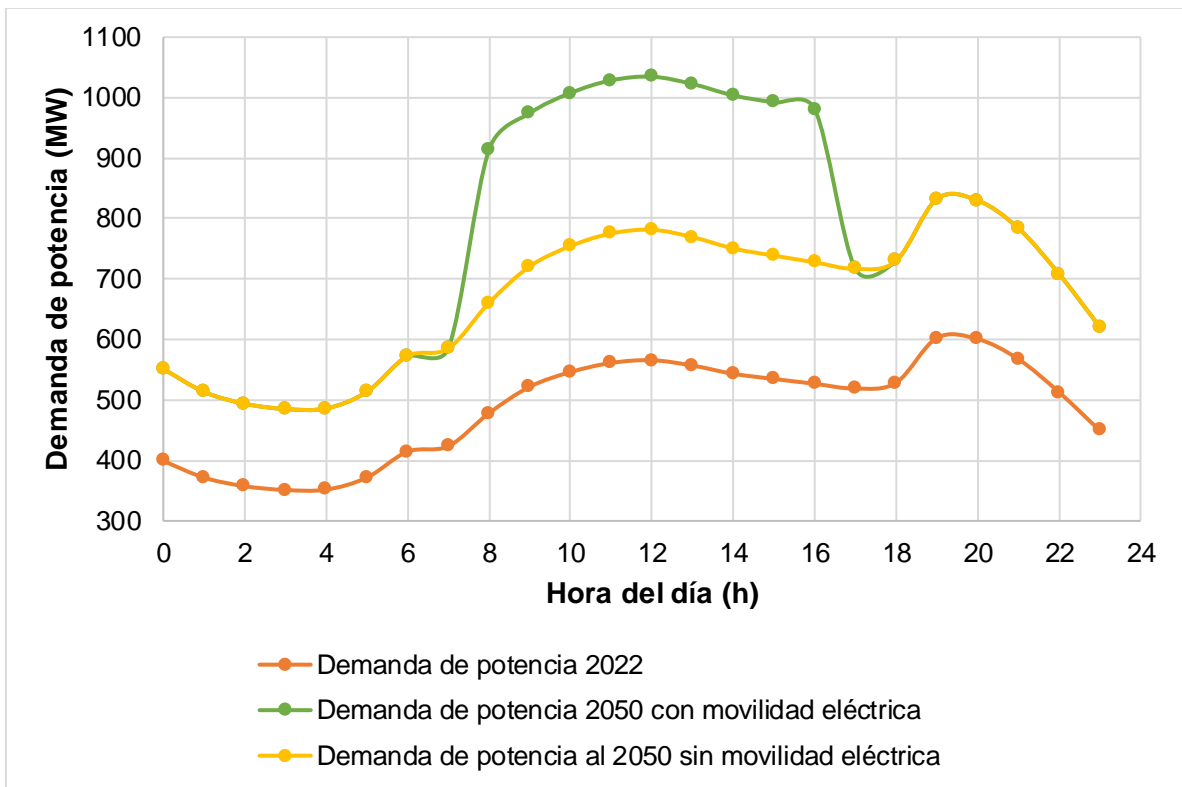
### Perfiles de demanda eléctrica con movilidad eléctrica al 2050

En la Figura 3.4 y Figura 3.5 se puede observar el perfil de demanda eléctrica del 2022, el perfil estimado al 2050 con y sin incremento de movilidad eléctrica en el sector privado, para el segundo escenario de carga de vehículos eléctricos, que consiste en la implementación de carga en el día, en lugares de trabajo.



**Figura 3.4.** Perfil de demanda de potencia en Quito durante el año 2022 y proyecciones para el año 2050 bajo un escenario de crecimiento vehicular Business As Usual (BAU), considerando la carga de vehículos eléctricos. El escenario contempla la implementación de estaciones de carga diurnas en lugares de trabajo.

Fuente: Propia



**Figura 3.5.** Perfil de demanda de potencia en Quito durante el año 2022 y proyecciones para el año 2050 bajo un escenario de reducción del 25% de crecimiento vehicular, considerando la carga de vehículos eléctricos. El escenario contempla la implementación de estaciones de carga diurnas en lugares de trabajo.

Fuente: Propia

La Figura 3.4 y Figura 3.5 muestran un aumento significativo en la demanda de potencia desde 2022 hasta 2050, especialmente con la incorporación de la movilidad eléctrica. En 2022, la demanda máxima alcanza los 600 MW aproximadamente, mientras que en 2050 se proyecta un incremento a 800 MW sin movilidad eléctrica y más de 1000 MW con ella, destacando un pico al medio día debido a que se considera el escenario diurno de carga de vehículos en los lugares de trabajo.

El primer y tercer escenario de carga vehicular se puede observar en la Figura 3.11 y Figura 3.12 para el escenario BAU, y en la Figura 5.1 y Figura 5.2 para el escenario de reducción del 25% de crecimiento vehicular, ubicadas en el Anexo IV.

### Área total de instalación del sistema fotovoltaico

Con el módulo e inversor escogidos se obtuvo los parámetros del sistema fotovoltaico mostrados en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1.** Parámetros del sistema fotovoltaico

Escenario de crecimiento vehicular	Módulos por cadena en subarreglo	Cadenas en paralelo en un subarreglo	Número de módulos total
BAU	26881	61825	1236509
Reducción 25%	20160	46369	927382

Fuente: Propia

En función de este sistema fotovoltaico se determinó el área total de instalación que se requiere para cubrir la demanda eléctrica al 2030, 2040 y 2050, de los dos escenarios de crecimiento, lo cual se puede observar en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2.** Área total de instalación del sistema fotovoltaico

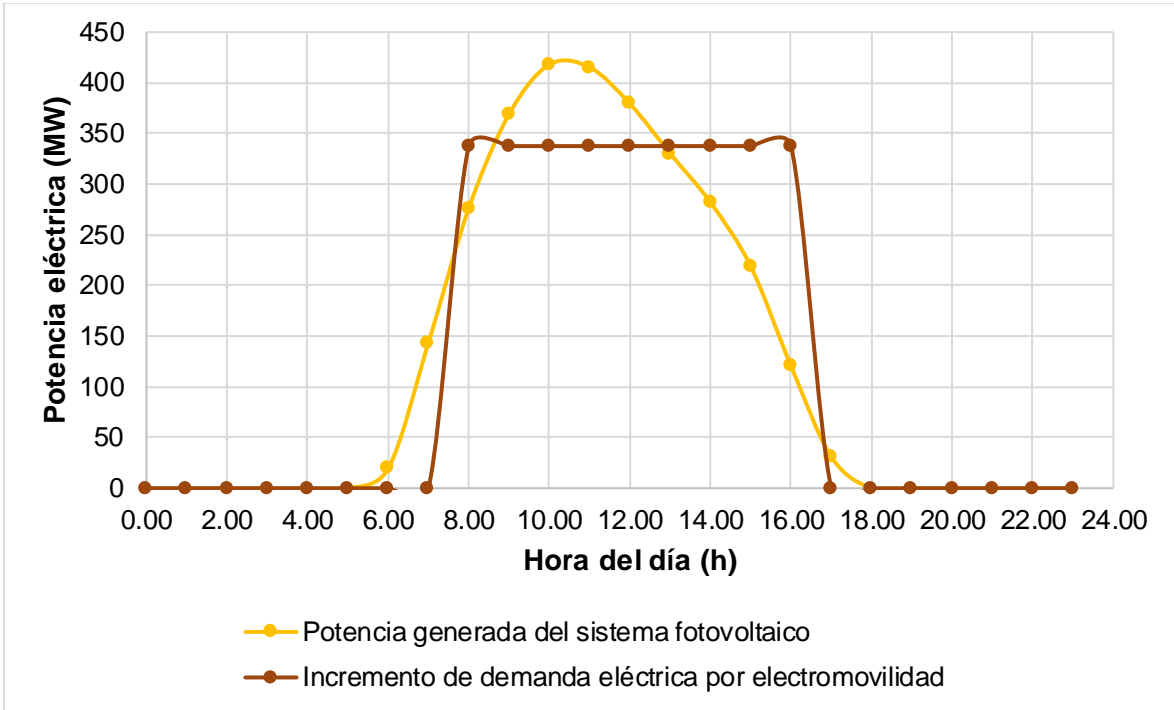
Escenarios de crecimiento vehicular	Año	Área total FV [km <sup>2</sup> ]
Crecimiento BAU	2030	0.5
	2040	2.8
	2050	<b>3.2</b>
Reducción del 25%	2030	0.4
	2040	2.1
	2050	<b>2.4</b>

Fuente: Propia

### Perfil de potencia generada por el sistema fotovoltaico

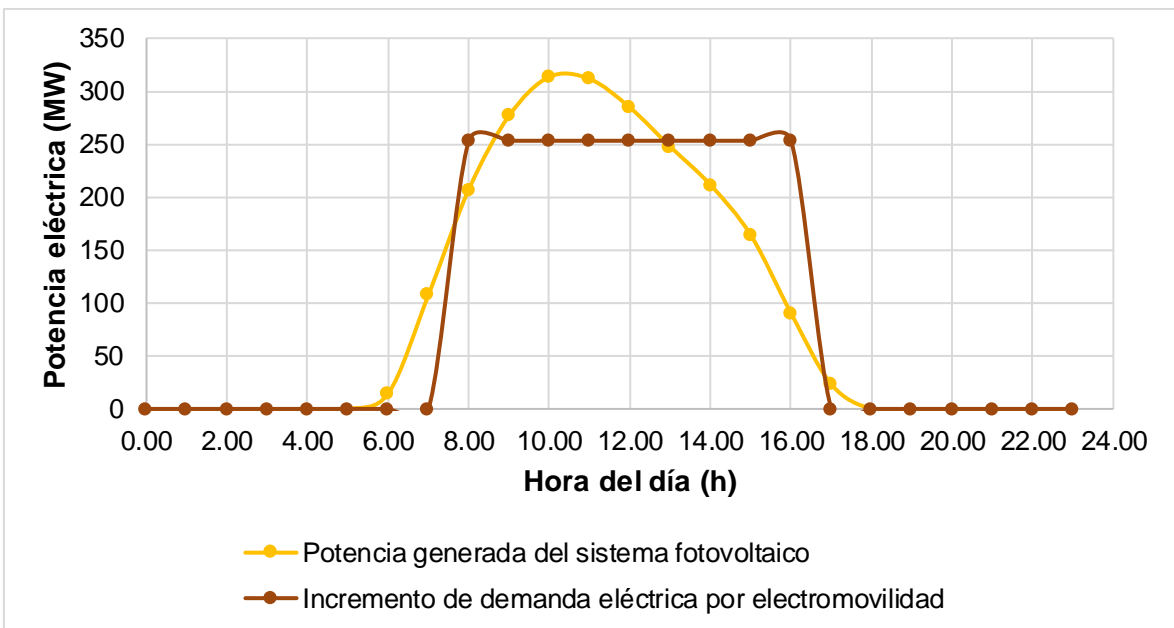
En la Figura 3.6 y Figura 3.7 se puede observar los perfiles de un día promedio de generación de potencia del sistema fotovoltaico, para los dos escenarios de crecimiento vehicular, los mismos que logran cubrir el incremento de demanda eléctrica debido a la introducción de movilidad eléctrica.

Las gráficas muestran que la potencia generada por el sistema presenta un pico entre las 08h00 y las 16h00, alcanzando aproximadamente 425 MW en el primer escenario y 315 MW en el segundo, disminuyendo después de esa hora. Durante el mismo período, el incremento de demanda por electromovilidad se mantiene constante en aproximadamente 350 MW para el primer escenario y 250 MW para el segundo. Esta superposición indica que, durante las horas pico, la potencia generada es suficiente para cubrir la demanda adicional de vehículos eléctricos, pero fuera de estas horas, la generación es nula mientras la demanda sigue presente. Esto resalta la necesidad de ajustar la generación de energía para equilibrar la demanda durante todo el día.



**Figura 3.6.** Perfil de potencia eléctrica generada por el sistema fotovoltaico y el incremento de la demanda eléctrica debido a la electromovilidad en un escenario de crecimiento vehicular Business As Usual (BAU), a lo largo de un día promedio.

Fuente: Propia



**Figura 3.7.** Perfil de potencia eléctrica generada por el sistema fotovoltaico y el incremento de la demanda eléctrica debido a la electromovilidad en un escenario con una reducción del 25% en el crecimiento vehicular, a lo largo de un día promedio.

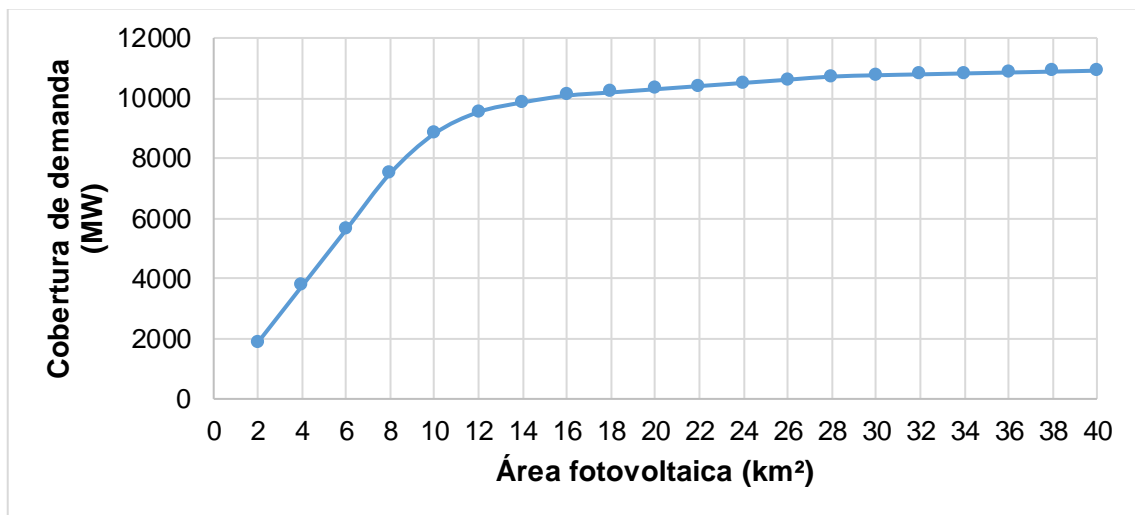
Fuente: Propia



## 3.2 Discusión

Para la discusión se analiza como ejemplo el escenario de crecimiento vehicular Business As Usual (BAU).

La potencia generada por el sistema fotovoltaico dimensionado depende del área de implementación. Esto permitiría no solo cubrir el incremento de demanda debido a la introducción de la electromovilidad, sino también la demanda eléctrica doméstica, siempre que se aumente el área de paneles fotovoltaicos. Sin embargo, a un área de implementación determinada, la cobertura del sistema se mantendría constante, ya que no se considera la inclusión de un sistema de almacenamiento. Esto puede verificarse en la Figura 3.8.

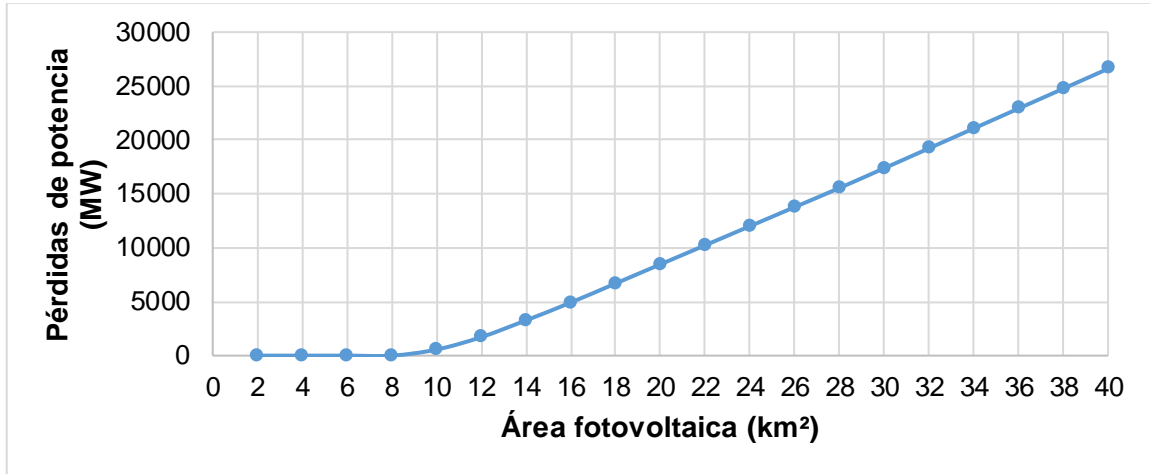


**Figura 3.8.** Relación entre el área fotovoltaica instalada y la cobertura de demanda eléctrica.

Fuente: Propia

Se observa que a medida que aumenta el área de paneles solares, la capacidad de cubrir la demanda eléctrica también incrementa, estabilizándose alrededor de los 16 km<sup>2</sup> en aproximadamente 10000 MW. Esto indica que hay un punto en el que añadir más área fotovoltaica no incrementa significativamente la cobertura de demanda.

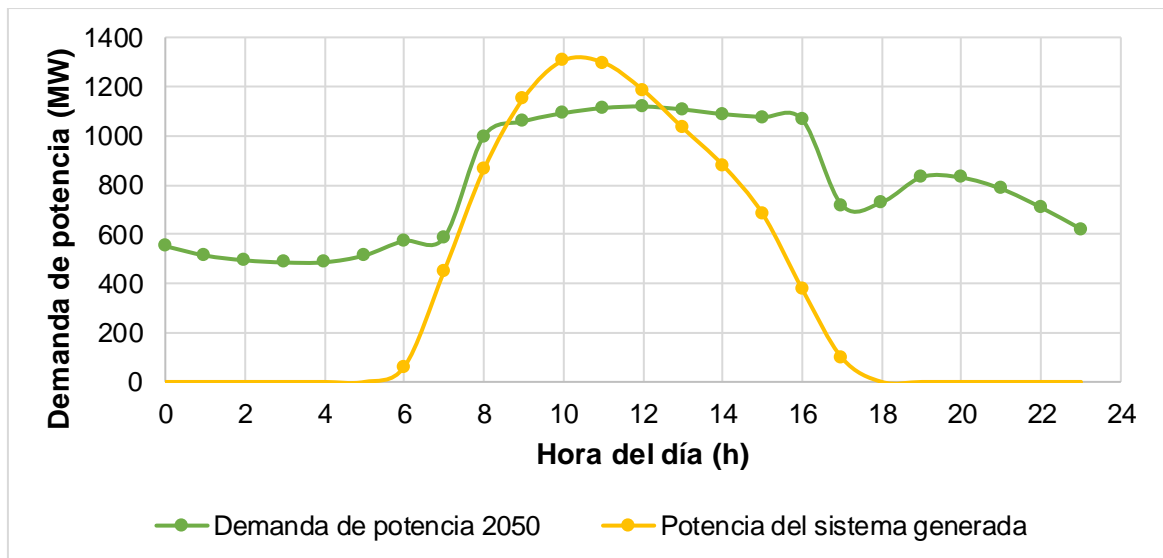
Por esta razón, las pérdidas de generación fotovoltaica del sistema son significativas a partir de cierta área de implementación de paneles, como se puede apreciar en la Figura 3.9.



**Figura 3.9.** Relación entre el área fotovoltaica instalada y las pérdidas de potencia eléctrica.

Fuente: Propia

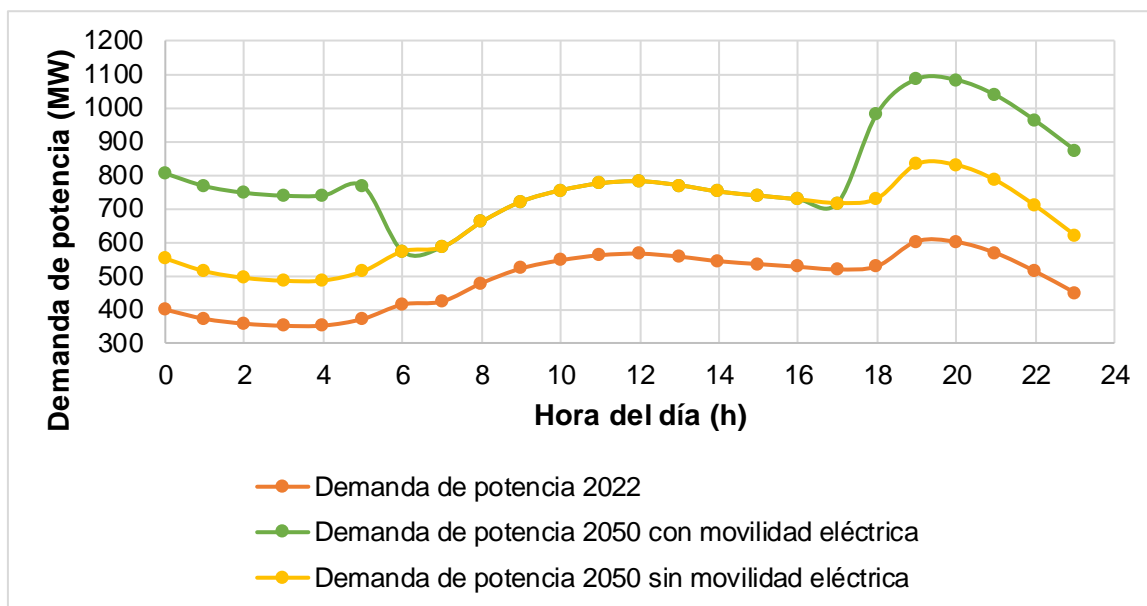
De esta manera, a partir de la Figura 3.10, se puede identificar que con un área de instalación de 10 km<sup>2</sup>, se podría cubrir la demanda eléctrica tanto por movilidad eléctrica como para el consumo doméstico durante las horas del día de mayor generación fotovoltaica. Sin embargo, cuando la generación de potencia del sistema supera la demanda de potencia se producen excedentes de energía. Estos pueden ser almacenados en sistemas de baterías para uso posterior, caso contrario implicaría una pérdida de recurso. Por lo cual, una gestión óptima requiere infraestructura adecuada de almacenamiento y una red inteligente para redistribuir la energía eficientemente.



**Figura 3.10.** Demanda de potencia esperada en 2050 debido a la electromovilidad y potencia generada por un sistema fotovoltaico de 10 km<sup>2</sup>.

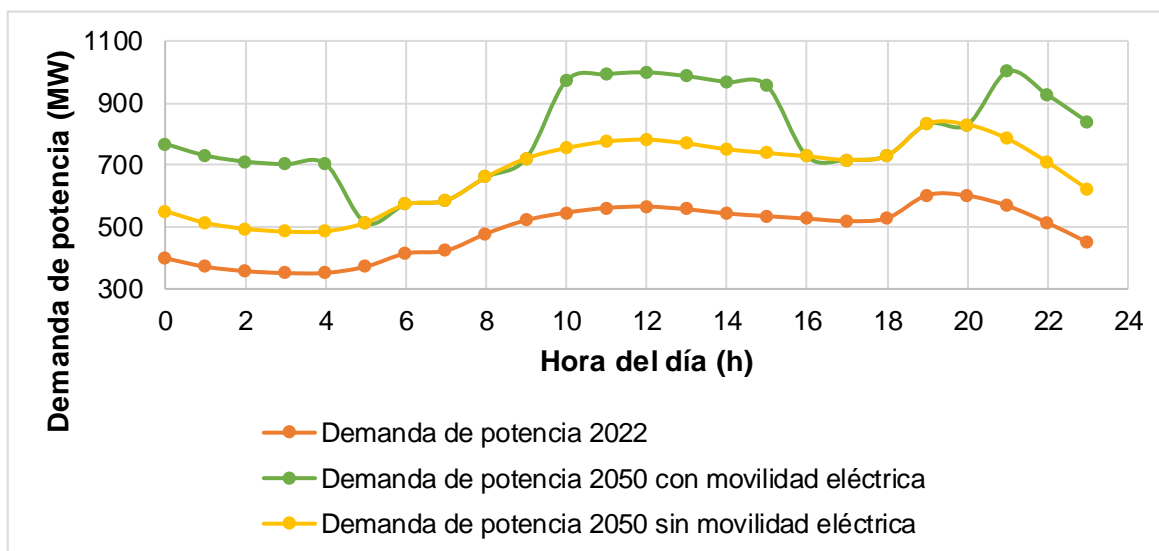
Fuente: Propia

Por otra parte, los perfiles de demanda eléctrica del 2022 y 2050 del primer escenario de carga de vehículos eléctricos (carga nocturna en hogares) y el tercer escenario (carga nocturna y diurna en hogares y lugares de trabajo), pueden verificarse en la Figura 3.11 y Figura 3.12 respectivamente.



**Figura 3.11.** Perfil de demanda de potencia promedio en el año 2022 y proyecciones para el año 2050, con y sin movilidad eléctrica, bajo un escenario BAU en el crecimiento vehicular. En el que se considera la carga nocturna de vehículos en las viviendas.

Fuente: Propia



**Figura 3.12.** Perfil de demanda de potencia promedio en el año 2022 y proyecciones para el año 2050, con y sin movilidad eléctrica, bajo un escenario BAU en el crecimiento vehicular. En el que se considera la carga nocturna de vehículos en las viviendas y carga diurna en lugares de trabajo.

Fuente: Propia

En los dos escenarios de carga presentados, se observa un impacto significativo de la movilidad eléctrica en la demanda diaria de potencia, incrementando considerablemente la carga durante las horas pico de la noche y el mediodía. Esto resalta la importancia de planificar y gestionar adecuadamente la demanda eléctrica a mediodía, aprovechando la energía solar para satisfacer este aumento en la demanda.

### **3.3 Conclusiones**

A partir del perfil de demanda eléctrica del 2022 de la ciudad de Quito se concluye que la demanda eléctrica sigue un patrón diario caracterizado por una baja demanda durante la madrugada, un aumento gradual a partir de las 06h00, alcanzando un pico entre las 11h00 y las 14h00, y disminuyendo nuevamente hacia la noche. La hora de mayor demanda se concentran alrededor de las 19h00, indicando que las actividades comerciales, industriales y domésticas están en su punto más alto durante este periodo. Este perfil resalta la importancia de gestionar adecuadamente la demanda de energía, especialmente durante las horas pico, para asegurar la estabilidad del sistema eléctrico en Quito.

La implementación de vehículos eléctricos incrementará la demanda eléctrica, y la elección de los horarios de carga es crucial para gestionar este incremento. Cargar los vehículos eléctricos después de las 22h00 puede aprovechar la baja demanda actual y distribuir la carga de manera más uniforme, mientras que la carga diurna en los lugares de trabajo podría incrementar la demanda en periodos ya altos, requiriendo una planificación cuidadosa para mantener la estabilidad del sistema eléctrico.

Considerando la implementación de un sistema fotovoltaico para cubrir la demanda eléctrica generada por la introducción de vehículos eléctricos, y basándonos en los perfiles de demanda proyectados al 2050 para los tres escenarios de carga, se puede concluir que el escenario más favorable se presenta durante las horas del día en las cuales la energía solar alcanza su máximo potencial. En este caso, la demanda eléctrica por la carga de vehículos eléctricos coincide con los periodos de mayor generación fotovoltaica, lo que permite una utilización directa y eficiente de la energía solar sin necesidad de almacenamiento adicional.

Por otro lado, los escenarios que contemplan la carga nocturna de vehículos eléctricos también pueden ser viables, siempre y cuando se implemente un sistema de almacenamiento. Este sistema de almacenamiento sería crucial para captar y guardar la energía generada durante el día, permitiendo su utilización durante la noche cuando los vehículos eléctricos necesitan ser cargados y la generación solar no se encuentra disponible.

### **3.4 Recomendaciones**

Es crucial identificar y evaluar las áreas disponibles en la ciudad para la instalación de paneles fotovoltaicos. Este análisis debe abarcar tanto los techos de edificios residenciales, comerciales e industriales, como también posibles espacios en terrenos no utilizados. Al considerar estos lugares, es esencial tener en cuenta diversos factores que pueden influir en la eficiencia de la generación de energía. Estos factores incluyen la orientación y la inclinación de las superficies, la posible presencia de sombras que puedan obstruir la luz solar y la cantidad de irradiación solar que reciben las áreas propuestas. Realizar un análisis exhaustivo y detallado de estos aspectos permitirá maximizar la eficiencia de los paneles fotovoltaicos y garantizar un aprovechamiento óptimo de la energía solar en la ciudad.

Se recomienda optimizar los escenarios de carga de vehículos eléctricos, dado que las horas propuestas para la carga nocturna coinciden con uno de los picos de mayor demanda eléctrica de la ciudad. Sería conveniente considerar un horario alternativo que evite aumentar este pico, permitiendo en su lugar una distribución más uniforme de la demanda.

Resultaría interesante llevar a cabo un análisis sobre la introducción de la movilidad eléctrica sin limitarse únicamente a la movilidad privada, sino abarcar todas las formas de transporte, incluyendo el transporte público y los vehículos comerciales. Al incluir todos los tipos de movilidad en el análisis, se podrán identificar con mayor precisión las oportunidades y desafíos que conlleva la transición hacia la movilidad eléctrica. Esto permitirá desarrollar políticas y estrategias más efectivas y sostenibles para su implementación.

Para trabajos futuros, se recomienda llevar a cabo un análisis detallado de la factibilidad económica para la instalación de sistemas fotovoltaicos en la ciudad. En el que se consideren costos de instalación, operación, mantenimiento y un análisis de retorno de inversión.

## **4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] J. Davenport and N. Wayth, "In partnership with Statistical Review of World Energy 2023 | 72 nd edition," 2023.
- [2] Z. Hausfather and P. Friedlingstein, "Analysis: Global CO2 emissions from fossil fuels hit record high in 2022."

- [3] B. P. Sandaka and J. Kumar, "Alternative vehicular fuels for environmental decarbonization: A critical review of challenges in using electricity, hydrogen, and biofuels as a sustainable vehicular fuel," May 15, 2023, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.ceja.2022.100442.
- [4] A. Pamidimukkala, S. Kermanshachi, J. M. Rosenberger, and G. Hladik, "Barriers and motivators to the adoption of electric vehicles: A global review," Apr. 01, 2024, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.geits.2024.100153.
- [5] U.S Department of Energy Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, "Electric Vehicle Basics," Aug. 2023. Accessed: Jun. 16, 2024. [Online]. Available: <https://www.nrel.gov/docs/fy23osti/87125.pdf>
- [6] A. Albatayneh, M. N. Assaf, D. Alterman, and M. Jaradat, "Comparison of the Overall Energy Efficiency for Internal Combustion Engine Vehicles and Electric Vehicles," *Environmental and Climate Technologies*, vol. 24, no. 1, pp. 669–680, Jan. 2020, doi: 10.2478/rtuct-2020-0041.
- [7] B. Birkbeck and T. Wilson, "Electric Car Components and Functions."
- [8] CARFACAR, "Las electrolineras en España: ubicación, precios y cómo funcionan." Accessed: Jun. 30, 2024. [Online]. Available: <https://cargacar.com/noticias/que-es-electrolinera>
- [9] Municipal Climate Change Action Centre, "ELECTRIC VEHICLE KNOWLEDGE GUIDE," 2022.
- [10] CONUEE Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, "Niveles de carga," 2023.
- [11] J. Cárdenas, "Potencia y consumo en un coche eléctrico, una combinación ganadora."
- [12] C. Okoye and U. I. Igariwey, "SOLAR PV POWER GENERATION: KEY INSIGHTS AND IMPERATIVES," 2019.
- [13] Akshay VR, "What Are The Basic Components Of The Photovoltaic System?"
- [14] H. Huang, X. Ding, and L. Tong, "Photovoltaic power generation system," 2017.
- [15] A. G. Abo-Khalil, K. Sayed, A. Radwan, and I. I. A. El-Sharkawy, "Analysis of the PV system sizing and economic feasibility study in a grid-connected PV system," Case

*Studies in Thermal Engineering*, vol. 45, May 2023, doi: 10.1016/j.csite.2023.102903.

- [16] S. Poddar, M. Kay, A. Prasad, J. P. Evans, and S. Bremner, "Changes in solar resource intermittency and reliability under Australia's future warmer climate," *Solar Energy*, vol. 266, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.solener.2023.112039.
- [17] T. Lehtola, "Solar energy and wind power supply supported by battery storage and Vehicle to Grid operations," *Electric Power Systems Research*, vol. 228, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.epsr.2023.110035.
- [18] AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES, "REGULACIÓN Nro. ARCERNNR-008/23," 2023. [Online]. Available: [www.controlrecursosyenergia.gob.ec](http://www.controlrecursosyenergia.gob.ec)
- [19] The International Energy Agency iea 50, "Electric Vehicles."
- [20] Comisión Europea, "PACTO VERDE EUROPEO," 2021. doi: 10.2775/948427.
- [21] eurelectric, "Six essentials for E-mobility to reach mass market in Europe."
- [22] EY Building a better working world and eurelectric powering people, "Data interoperability: an essential for the e-mobility ecosystem."
- [23] R. Farmer, R. Gupta, V. Lath, and N. Manuel, "Capturing growth in Asia's emerging EV ecosystem." Accessed: Jun. 30, 2024. [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-asia/capturing-growth-in-asias-emerging-ev-ecosystem#/>
- [24] S. Davies, "Coches eléctricos: la carrera china hacia la movilidad sostenible."
- [25] M. Terasawa and Y. Tiberghien, "Asia ground zero in the revolution of electric vehicle markets ." Accessed: Jun. 30, 2024. [Online]. Available: <https://eastasiaforum.org/2024/03/19/asia-ground-zero-in-the-revolution-of-electric-vehicle-markets/#:~:text=Across%20Asia%2C%20new%20EV%20factories,of%20this%20new%20transport%20technology.>
- [26] CCQ Cámara de Comercio de Quito, "¿Qué tan rentable es optar por la movilidad eléctrica?"
- [27] Statista Research Department, "Number of electric vehicles sold in Ecuador from 2016 to 2019."

- [28] Ministerio de Energía, “ELECTROMOVILIDAD EN ECUADOR.”
- [29] AEADE Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, “ANUARIO-2023,” 2023.
- [30] ELECTROMAPS, “Listado de puntos de recarga para vehículos eléctricos en Ecuador.”
- [31] Secretaría de Movilidad, Alcaldía Metropolitana, and Metro, “PLAN MAESTRO DE MOVILIDAD SOSTENIBLE DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO-PMMS DMQ,” 2022.
- [32] Secretaría de Ambiente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, “Plan de Acción de Cambio Climático de Quito 2020 DMQ Neutralidad Climática,” 2020, [Online]. Available: <https://www.www.quitoambiente.gob.ec>
- [33] H. Martin, R. Buffat, D. Bucher, J. Hamper, and M. Raubal, “Using rooftop photovoltaic generation to cover individual electric vehicle demand—A detailed case study,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 157, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.rser.2021.111969.
- [34] B. Sambasivam and M. Sundararaman, “Evaluating the impact of passenger electric vehicle adoption on high renewable resources electricity grid,” *Resources, Conservation and Recycling Advances*, vol. 20, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.rcradv.2023.200193.
- [35] Adel Ramadan Hussien Mohamed and Abdussalam Ali Ahmed, “Solar energy roles in charging electric vehicles,” *GSC Advanced Research and Reviews*, vol. 16, no. 3, pp. 045–052, Sep. 2023, doi: 10.30574/gscarr.2023.16.3.0348.
- [36] R. Xu, M. Seattle, C. Kennedy, and M. McPherson, “Flexible electric vehicle charging and its role in variable renewable energy integration,” *Environmental Systems Research*, vol. 12, no. 1, Dec. 2023, doi: 10.1186/s40068-023-00293-9.
- [37] A. M. Al-Ghaili, H. Kasim, H. Aris, and N. M. Al-Hada, “Can electric vehicles be an alternative for traditional fossil-fuel cars with the help of renewable energy sources towards energy sustainability achievement?,” Dec. 01, 2022, *Springer Nature*. doi: 10.1186/s42162-022-00234-3.
- [38] S. Qiu, K. Zhang, Z. Chen, Y. Ma, and Z. Chen, “A Dynamic Partition Model for Multi-Energy Power Grid Energy Balance Considering Electric Vehicle Response Willingness,” *Processes*, vol. 11, no. 5, May 2023, doi: 10.3390/pr11051508.



- [39] J. Cao, C. Crozier, M. McCulloch, and Z. Fan, "Optimal design and operation of a low carbon community based multi-energy systems considering EV integration," *IEEE Trans Sustain Energy*, vol. 10, no. 3, pp. 1217–1226, Jul. 2019, doi: 10.1109/TSTE.2018.2864123.
- [40] N. M. Manousakis, P. S. Karagiannopoulos, G. J. Tsekouras, and F. D. Kanellos, "Integration of Renewable Energy and Electric Vehicles in Power Systems: A Review," May 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/pr11051544.
- [41] G. Chiriboga, R. Chamba, A. Garcia, R. Heredia-Fonseca, C. Montero-Calderón, and G. Carvajal C, "Useful energy is a meaningful approach to building the decarbonization: A case of study of the Ecuadorian transport sector," *Transp Policy (Oxf)*, vol. 132, pp. 76–87, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.tranpol.2022.12.019.
- [42] D. Icaza-Alvarez, F. Jurado, and M. Tostado-Véliz, "Long-term planning for the integration of electric mobility with 100% renewable energy generation under various degrees of decentralization: Case study Cuenca, Ecuador," *Energy Reports*, vol. 9, pp. 4816–4829, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.egyr.2023.03.118.
- [43] CONELEC Consejo Nacional de Electricidad, "ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA Corporación para la Investigación Energética," Quito, Aug. 2008.
- [44] G. S. Inca Yajamín, D. F. Cabrera Carrión, D. F. Villalta Gualán, R. C. Bautista Zurita, and H. D. Cabrera Carrion, "Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador: avances, desafíos y perspectivas," *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 7, no. 3, pp. 9493–9509, Jul. 2023, doi: 10.37811/cl\_rcm.v7i3.6835.
- [45] NATIONAL GEOGRAPHIC ESPAÑA, "El desierto de Atacama es el punto del planeta que recibe mayor radiación solar."
- [46] ICEX España Exportación e Inversiones, "Energía solar en Alemania," Berlín, Aug. 2022. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/37612/umfrage/stromerzeugung-durch-erneuerbare-energie-in-2008/>
- [47] R. C. Echegaray-Aveiga, M. Masabanda, F. Rodriguez, T. Toulkeridis, and F. Mato, "Solar Energy Potential in Ecuador," in *2018 5th International Conference on*

*eDemocracy and eGovernment, ICEDEG 2018*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Jun. 2018, pp. 46–51. doi: 10.1109/ICEDEG.2018.8372318.

- [48] F. Jabeen *et al.*, “Analysis of Western Australian Electric Vehicle and charging station trials,” 2014. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/286114654>
- [49] Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, “Geoportal del Sector Eléctrico Ecuatoriano.” Accessed: Apr. 17, 2024. [Online]. Available: <https://geoportal.controlrecursosyenergia.gob.ec/>
- [50] Operador Nacional de Electricidad CENACE, “Convenio de Cooperación Académica,” 2023.
- [51] D. C. Arias *et al.*, “Informe de Calidad de Vida 2023 - Quito cómo vamos,” 2023.
- [52] INEC Instituto Nacional de Estadística y Censos, “Presentación de Resultados Nacionales Censo Ecuador 2022,” 2022.
- [53] EL UNIVERSO, “A partir del 2030 la población ecuatoriana empezará a envejecer dice el INEC.”
- [54] Primicias, “16 marcas compiten con vehículos eléctricos en Ecuador.”
- [55] elyex, “¿Qué kilometraje promedio debe tener un auto por año?”
- [56] P. Gilman, “SAM Photovoltaic Model Technical Reference,” 2015. [Online]. Available: [www.nrel.gov/publications](http://www.nrel.gov/publications).
- [57] e-tron, “e-tron 55 quattro Prestige.”
- [58] Kia e-Niro, “Especificaciones Técnicas Kia e-Niro”.
- [59] km77, “Precios, datos y equipamiento de Volkswagen ID.4, descatalogados y en venta, con carrocería SUV/Todoterreno, eléctrico”, Accessed: Apr. 28, 2024. [Online]. Available: [https://www.km77.com/buscador/datos?grouped=0&order=price-asc&markets\[\]=current&markets\[\]=discontinued&nqls\[\]=ve:car:volkswagen:id4&fuel\\_categories\[\]=electrico&body\\_groups\[\]=todoterreno](https://www.km77.com/buscador/datos?grouped=0&order=price-asc&markets[]=current&markets[]=discontinued&nqls[]=ve:car:volkswagen:id4&fuel_categories[]=electrico&body_groups[]=todoterreno)
- [60] km77, “Precios, datos y equipamiento de Hyundai, en venta, eléctrico”, Accessed: Apr. 28, 2024. [Online]. Available: [https://www.km77.com/buscador/datos?grouped=0&order=price-asc&markets\[\]=current&nqls\[\]=ve:car:hyundai&fuel\\_categories\[\]=electrico](https://www.km77.com/buscador/datos?grouped=0&order=price-asc&markets[]=current&nqls[]=ve:car:hyundai&fuel_categories[]=electrico)

- [61] km77, "Precios, datos y equipamiento de Nissan, descatalogados, prototipos y en venta, con carrocería Turismo, eléctrico", Accessed: Apr. 28, 2024. [Online]. Available: [https://www.km77.com/buscador/datos?grouped=0&order=price-asc&markets\[\]=current&markets\[\]=discontinued&markets\[\]=prototype&nqls\[\]=ve:car:nissan&fuel\\_categories\[\]=electrico&body\\_groups\[\]=turismo](https://www.km77.com/buscador/datos?grouped=0&order=price-asc&markets[]=current&markets[]=discontinued&markets[]=prototype&nqls[]=ve:car:nissan&fuel_categories[]=electrico&body_groups[]=turismo)
- [62] km77, "Precios, datos y equipamiento de Hyundai y Volkswagen, descatalogados, prototipos y en venta, con carrocería Turismo, eléctrico", Accessed: Apr. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.km77.com/>
- [63] km77, "MG Marvel R Electric AWD Performance (2021) \_ Precio y ficha técnica - km77.com", Accessed: Apr. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.km77.com/coches/mg/marvel-r/2021/estandar/electric/marvel-r-electric/datos>
- [64] km77, "Mercedes-Benz EQA 250 (2022-2023) \_ Precio y ficha técnica - km77.com", Accessed: Apr. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.km77.com/coches/mercedes/eqa/2021/estandar/estandar/eqa-250/datos>
- [65] SKYUELL, "FICHA TÉCNICA Version ET5 LV0 410km Skywell."

## 5 ANEXOS

### ANEXO I. Crecimiento vehicular

Tabla 5.1. Proyección de crecimiento de vehículos privados

Escenario de crecimiento vehicular	Año	Vehículos privados	Vehículos eléctricos	Vehículos a combustión
Crecimiento BAU	2022	326339	0	326339
	2030	381458	54861	326597
	2040	419989	288223	131766
	2050	450814	338110	112703
Reducción de 25%	2022	326339	0	326339
	2030	331551	41146	290406
	2040	335195	216167	119028
	2050	338110	253583	84528

Fuente: Propia

### ANEXO II. Demanda energética vehicular

Tabla 5.2. Datos de vehículos SUV y Automóviles del parque automotor en el DMQ

Tipo de Vehículo	Modelo	Consumo energético (kWh/100km)	Consumo energético (kWh/km)	Ventas de vehículos en el DMQ (%)
SUV	Audi E-tron	24.5	0.245	28.5
	Skywell Serie ET5	15.0	0.150	
	MG Marvel	20.9	0.209	
	Mercedes-Benz EQA	15.6	0.156	
	Kia e-Niro 100 kW (136 CV)	15.3	0.153	
	Kia e-Niro Long Range 150 kW (204 CV)	15.9	0.159	
	Hyundai Kona Eléctrico	14.7	0.147	
	Hyundai IONIG 5	16.7	0.167	
	Volkswagen ID.4 1st 150 kW	18	0.180	
	Volkswagen ID.5 GTX 220 kW	17	0.170	
	<b>Promedio</b>	<b>17.4</b>	<b>0.174</b>	
Automóviles	Volkswagen e-Golf 100 kW	15.4	0.154	35.7
	BYD E5	15.3	0.153	
	Nissan LEAF 40 kWh Acenta	16.6	0.166	
	Nissan LEAF 40 kWh N-Connecta	16.8	0.168	
	Nissan LEAF 40 kWh Acenta Access	17.1	0.171	

Nissan LEAF 62 kWh e+ N-Connecta	17.8	0.178
Volkswagen e-up!	14.5	0.145
Hyundai IONIQ 6 111 kW	13.9	0.139
Volkswagen ID.3 Pure Performance 110 kW	15.1	0.151
Hyundai IONIQ Eléctrico 100 kW	13.8	0.138
<b>Promedio</b>	<b>15.63</b>	<b>0.156</b>
<b>Consumo energético por vehículo (kWh/km)</b>	<b>0.164</b>	

Fuente: [57][58][59][60][61][62][63][64][65]

**Tabla 5.2.** Demanda energética anual total por escenarios de crecimiento vehicular

Escenarios de crecimiento vehicular	Año	Demanda energética anual total (MWh)
Crecimiento BAU	2030	179922
	2040	945255
	2050	1108866
Reducción del 25%	2030	134941
	2040	708942
	2050	831650

Fuente: Propia

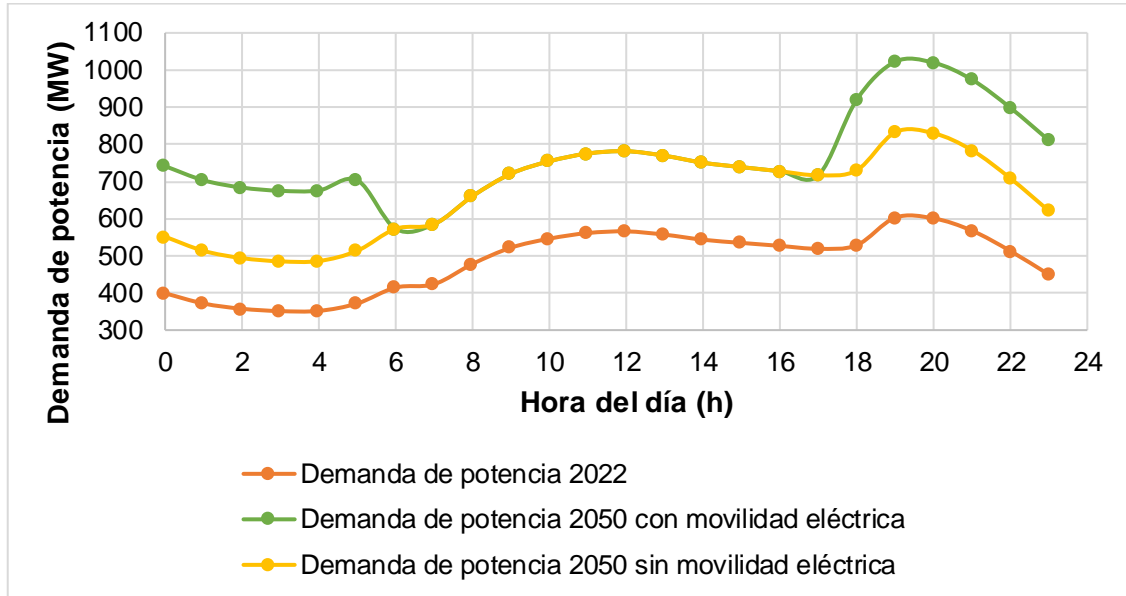
### ANEXO III. Incremento de demanda eléctrica

**Tabla 5.3.** Incremento de demanda eléctrica por escenarios de carga

Escenarios de crecimiento vehicular	Escenario de Carga	Demanda de Potencia (MW)
Crecimiento Bau	Vivienda: 6pm - 6 am	253.17
	Trabajo: 8am - 5pm	337.55
	Vivienda (9pm - 5am) y Trabajo (10 am - 4 pm)	217.00
Reducción del 25%	Vivienda: 6pm - 6 am	189.87
	Trabajo: 8am - 5pm	253.17
	Vivienda (9pm - 5am) y Trabajo (10 am - 4 pm)	162.75

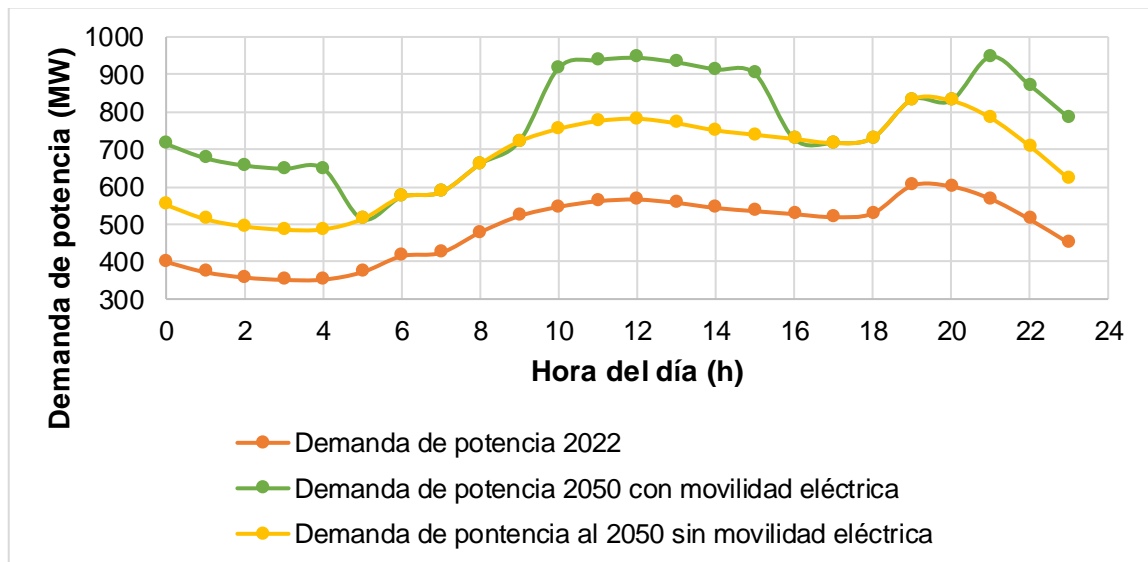
Fuente: Propia

## ANEXO IV. Perfiles de demanda eléctrica



**Figura 5.1.** Perfil de demanda de potencia promedio en el año 2022 y proyecciones para el año 2050, con y sin movilidad eléctrica, bajo un escenario de reducción del 25% en el crecimiento vehicular. En el que se considera la carga nocturna de vehículos en las viviendas.

Fuente: Propia



**Figura 5.2.** Perfil de demanda de potencia promedio en el año 2022 y proyecciones para el año 2050, con y sin movilidad eléctrica, bajo un escenario de reducción del 25% en el crecimiento vehicular. En el que se considera la carga nocturna de vehículos en las viviendas y carga diurna en lugares de trabajo.

Fuente: Propia