



ING. AUTOMOTRIZ

Trabajo integración Curricular previa a la obtención del título de Ingeniero en Automotriz.

AUTORES:

Esteban Santiago Bustos Alcázar

Joris Etienne Crasto Moser

TUTOR :

Ing. Juan Carlos Rubio

**ANÁLISIS Y ESTIMACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN
FUNCIÓN DEL PARQUE AUTOMOTOR ELÉCTRICO EN
ECUADOR**

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Esteban Santiago Bustos Alcázar** y **Joris Etienne Crasto Moser**, declaramos bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.




Esteban Santiago Bustos Alcázar



Joris Etienne Crasto Moser

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Ing. Juan Carlos Rubio**, certifico que conozco a los autores del presente trabajo, siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Juan Carlos Rubio', enclosed within a light blue rectangular box.

Firma profesor

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a personas más allegadas, en donde hemos encontrado un apoyo ya que ha sido un pilar fundamental durante esta etapa, brindándonos siempre su apoyo emocional y financiero de una manera incondicional de igual forma sus incontables consejos que nos han servido de guía durante nuestro estudio dentro de la Universidad Internacional del Ecuador.

Esteban Santiago Bustos Alcázar

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis seres queridos, donde he obtenido un apoyo que ha sido un pilar fundamental durante esta etapa de mi vida profesional, brindándome apoyo incondicional.

Joris Etienne Crasto Moser

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestros familiares y seres amados por estar siempre presentes en cada etapa de este fructífero camino.

A los Docentes de la Escuela de la escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador y demás docentes de otras facultades, quienes con su sapiencia y sabiduría en las distintas cátedras Impartidas a lo largo la carrera, han hecho posible la elaboración de este artículo científico que esperamos sea un aporte a la academia.

Esteban Santiago Bustos Alcázar

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestros familiares y seres amados por estar siempre presentes en cada etapa de este fructífero camino.

Joris Etienne Crasto Moser

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA	iii
APROBACIÓN DEL TUTOR	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	1
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN	4
MARCO TEÓRICO	7
2.1 Electricidad y Emisiones de Carbono en Ecuador	8
2.1 Producción de energía y emisiones de CO₂ en el 2018 – 2022	9
2.2 Huella de carbón según su fuente energética	11
2.3 Parque automotor en Ecuador	12
2.3.1 Venta de autos eléctricos en Ecuador.	12
2.3.2 Tipos de autos eléctricos vendidos en Ecuador.....	13
3.1 Estimación del crecimiento del parque vehicular EV	13
3.2 Demanda energética	14
3.3 Emisiones de carbón	15
RESULTADOS Y DISCUSION	16
4.1 Unidades Vendidas desde el 2015 al 2022 y proyección lineal de ventas 2023 al 2028	16
CONCLUSIONES	22
Bibliografía	23
Anexos	25
Anexo 1 AEADE. Sector-en-Cifras-Resumen-Enero	25
Anexo 2 AEADE. Anuario 2022	26
Anexo 3 AEADE. Anuario 2021	30
Anexo 4 CINAЕ. Boletín vehículos Nuevos abril 2023.....	35
Anexo 5 AEADE. Sector Automotriz en cifras febrero 2023	38
Anexo 6. Comisión Técnica de determinación de Factores de Emisión de gases de efecto invernadero. FACTOR DE EMISIÓN DE CO₂ DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE ECUADOR – INFORME 2021	41

Anexo 7. Ministerio de energía y recursos naturales no renovables. Plan maestro de electricidad	66
Anexo 8. Mackesey Company. Why most trucks will choose overnight charging	75
Anexo 9. Mackesey Company. Why the automotive future is electric.....	85
Anexo 10. Energy and Built Environment. The environmental and financial implications of expanding the use of electric cars - A Case study of Scotland	110

**ANÁLISIS Y ESTIMACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL INCREMENTO
DEL PARQUE AUTOMOTOR ELÉCTRICO EN ECUADOR.**
**ANALYSIS AND ESTIMATION OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT DEPENDING
ON THE ELECTRIC AUTOMOTIVE FARM IN ECUADOR**

Ing. Juan Carlos Rubio Terán. MBA, Santiago Bustos A., Joris Crasto M.

Pregrado Ingeniería Automotriz - Universidad, Titulo Obtenido, jrubio@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, esbustosal@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

Ingeniería Automotriz – Universidad Internacional del Ecuador, jocrastomo@uide.edu.ec, Quito – Ecuador

RESUMEN

El Ecuador en los últimos años ha tenido un impacto positivo en las emisiones de efecto invernadero con la incorporación de vehículos eléctricos en comparación con los vehículos de combustión interna. Sin embargo, hay que tomar en cuenta algunos aspectos que permiten tener una mejor certeza de lo que ocurre. La producción de baterías para los autos eléctricos genera la utilización de grandes cantidades de recursos naturales y por consecuencia gran cantidad de energía utilizada para esta construcción, ocasionando de esta forma un impacto ambiental significativo, una forma de contrarrestar es la implementación de políticas de construcción y reciclado o reutilización de estas baterías que pueden bajar significativamente el impacto negativo.

El incremento de parque automotor en el Ecuador puede generar un incremento significativo de la demanda de luz eléctrica, lo que puede ocasionar un incremento de la generación eléctrica de fuentes renovables por lo que habría que implementar fuentes que produzcan energía limpia como solar o eólica. Desde otra mirada de la problemática del aire de las ciudades, al utilizar autos eléctricos que no generan gases contaminantes como los autos de combustión interna se puede mejorar el aire de las ciudades en forma significativa, al eliminar los gases de efecto invernadero los vehículos eléctricos pueden contribuir a reducir el cambio climático, aprovechando la biodiversidad tan rica del Ecuador.

En términos generales el impacto generado por la Electro movilidad en el Ecuador es positiva por la reducción de elementos contaminantes a la atmósfera y la mejora del aire, sin dejar de lado las consecuencias que genera este cambio energético que sin políticas de control podrían ser muy nocivas para el desarrollo. La huella de carbono generada por los autos eléctricos en gran

parte depende de las fuentes que producen esta energía, es decir en países que la energía eléctrica es generada por fuentes renovables como el caso de hidroeléctricas, fuentes solares o eólicas el residuo de carbón es mucho menor que las generadas por los autos a gasolina, sin embargo la fuente de generación de electricidad en un porcentaje pequeño aún es por fuentes a partir de combustibles fósiles o a partir de carbón, si la fuente de generación de energía es por combustibles fósiles esta huella de carbón de los autos eléctricos puede ser igual o mayor a los autos convencionales actuales, en cuanto a las baterías se necesita de materiales como el litio, cobalto y níquel que su extracción es a cielo abierto en la mayoría de las minas, produciendo un impacto negativo en el medio ambiente, es por ello la importancia de trabajar en fuente de alimentación de energía eléctrica renovables limpias con el medio ambiente.

El presente estudio presenta una **metodología** de investigación científica con un enfoque cuantitativo – comparativo en donde mediante modelos matemáticos como formulas y proyecciones estadísticas se piensa llegar a una conclusión de la huella de carbón, los **resultados** determinan que el uso de vehículos eléctricos es importante para bajar los gases de efecto invernadero mitigando la huella de carbón en el ambiente, al ser la electricidad del Ecuador en su gran mayoría por fuentes renovables, “es importante indicar que en la actualidad el 92% de la generación de energía en el país proviene de centrales hidráulicas, el 7% de térmicas y el 1% de fuentes no convencionales (fotovoltaica, eólica, biomasa, biogás, geotermia, entre otras). (Ministerio de energía y minas, 2023). Como **conclusión** del estudio se determina que existe una reducción importante de la huella de carbón según los cálculos obtenidos durante el proceso de análisis del presente trabajo, permitiendo dejar la puerta abierta para poder cuantificar cual es impacto ambiental al no utilizar combustibles fósiles al ambiente y las implicaciones a su entorno natural, si bien es cierto que la gran producción de energía es por fuentes renovables es necesario generar regulación fuertes y políticas internas de gobierno para la normalización de usos de energías para vehículos eléctricos, por citar un ejemplo una marca conocida en el Ecuador genera la competición nono marca de autos eléctricos en circuitos, el transporte de estos se lo hace en vehículos propulsado por combustibles fósiles y la generación de electricidad para propulsar a éstos autos de competición se lo hace por medio de un grupos electrógenos propulsados por combustibles fósiles dejando la esencia de ser menos contaminante por el simple hecho de generar lucro.

Palabras claves: Electro movilidad, emisiones contaminantes, energía, Ecuador

ABSTRACT

Ecuador in recent years has had a positive impact on greenhouse gas emissions with the incorporation of electric vehicles compared to internal combustion vehicles. However, it is necessary to take into account some aspects that allow us to have a better certainty of what is happening. The production of batteries for electric cars generates the use of large amounts of natural resources and consequently a large amount of energy used for this construction, thus causing a significant environmental impact, a way to counteract is the implementation of policies for the construction and recycling or reuse of these batteries that can significantly reduce the negative impact.

The increase in the number of vehicles in Ecuador can generate a significant increase in the demand for electricity, which can cause an increase in the generation of electricity from renewable sources, so it would be necessary to implement sources that produce clean energy such as solar or wind power. From another perspective of the air problem in cities, by using electric cars that do not generate polluting gases like internal combustion cars, the air in cities can be significantly improved, by eliminating greenhouse gases, electric vehicles can contribute to reduce climate change, taking advantage of the rich biodiversity of Ecuador.

In general terms, the impact generated by electric mobility in Ecuador is positive due to the reduction of pollutants in the atmosphere and the improvement of the air, without leaving aside the consequences generated by this energy change that without control policies could be very harmful to development. The carbon footprint generated by electric cars largely depends on the sources that produce this energy, i.e. in countries where electricity is generated by renewable sources such as hydroelectric, solar or wind sources the carbon residue is much lower than those generated by gasoline cars, however the source of electricity generation in a small percentage is still by sources from fossil fuels or from coal, If the source of energy generation is from fossil fuels, the carbon footprint of electric cars can be equal or greater than the current conventional cars. As for the batteries, materials such as lithium, cobalt and nickel are needed, which are extracted in the open air in most of the mines, producing a negative impact on the environment, which is why it is important to work on renewable electric energy sources that are environmentally friendly.

The present study presents a scientific research methodology with a quantitative-comparative approach where through mathematical models such as formulas and statistical projections is thought to reach a conclusion of the carbon footprint, the results determine that the use of electric vehicles is important to lower greenhouse gases mitigating the carbon footprint in the environment, Since most of Ecuador's electricity comes from renewable sources, "it is important to indicate that at present 92% of the country's energy generation comes from hydroelectric plants, 7% from thermal plants and 1% from non-conventional sources (photovoltaic, wind, biomass, biogas, geothermal, among others). (Ministry of Energy and Mines, 2023). As a conclusion of the study it is determined that there is a significant reduction of the carbon footprint according to the calculations obtained during the analysis process of this work, leaving the door open to quantify the environmental impact of not using fossil fuels to the environment and the implications to its natural environment, although it is true that the great production of energy is by renewable sources, it is necessary to generate strong regulation and internal government policies for the standardization of energy uses for electric vehicles, For example, a well-known brand in Ecuador generates the competition of electric cars in circuits, the transportation of these is done in vehicles powered by fossil fuels and the generation of electricity to propel these competition cars is done by means of a generator powered by fossil fuels leaving the essence of being less polluting for the simple fact of generating profit.

Keywords: Electromobility, polluting emissions

INTRODUCCIÓN

Las condiciones mundiales hoy en día son alarmantes por el alto impacto a las condiciones climáticas por el efecto invernadero a causa de liberación de gases contaminantes producto de la quema de combustibles fósiles en una gran mayoría. “La introducción en el mercado de los vehículos impulsados por SPE ha sido acelerada en los últimos años debido a la alerta sobre el eminente agotamiento de los recursos hidrocarburíferos después del 2040 y el imparable calentamiento global, según lo reportan” (Kuo, 2019; Leach et al., 2020). Siendo evidente el agotamiento de este recurso energético, la causa de limitar o bajar este consumo es por los niveles altos de contaminantes que produce al medio ambiente, “A nivel mundial, las emisiones de dióxido de carbono CO₂ son una de las principales causas del aumento de los GEI (Gases Efecto Invernadero), calentamiento global y baja calidad de aire” (Pérez-Martínez,

Miranda, Andrade, & Kumar, 2020). “Este problema se agrava debido al elevado número de VMCI que funcionan a base de combustibles fósiles emitiendo GEI” (Leach, Kalghatgi, Stone, & Miles, 2020). Es casi insostenible seguir emitiendo las mismas cantidades de GEI (gases de Efecto Invernadero) a la atmosfera, es necesario cambiar la mirada a otras fuentes de energía limpias que permitan minimizar este efecto o eliminarlo de ser el caso.

El cambio de matriz energética para la movilidad ha permitido que las industrias automotrices de principio se planteen como alternativa los autos híbridos, siendo el fabricante Toyota uno de los pioneros que lanzó por primera vez el PRIUS en 1997 generando un cambio de esquemas, este auto es la combinación de un motor de combustión interna tradicional con un eléctrico movido por baterías que a su vez es re-cargado por el motor de combustión y en parte por regeneración. Hoy en día la alternativa que prevalece son los autos 100% eléctricos que permite la alternativa de la movilidad humana con sistemas más limpios que protegen el medio ambiente, el presente estudio determina la huella de carbón del parque automotriz eléctrico en el Ecuador en los últimos años, La huella de carbón es la cantidad de GEI liberados en el proceso de vida útil de auto, esto significa desde la fabricación, incluido la obtención de materias primas, el uso cotidiano y su eventual disposición.

La fabricación de estos autos incluye la extracción y procesamiento de materias primas, las mis pueden ser minerales para la fabricación de baterías, metales u otros componentes para la fabricación de componentes eléctricos, esto implica la utilización de mucha energía y en varios de los casos sigue siendo una energía que proviene de fuentes fósiles, es por ello que la huella de carbón puede ser mayor de un auto eléctrico si no se controlan los procesos.

El Ecuador es un país que sus habitantes están acostumbrados por políticas de estado a tener subsidios en todos y el combustible no es la excepción, al ser el precio del petróleo una variante mundial que depende de la oferta y demanda afecta de forma significativa a las arcas del ecuatorianas cuando el precio sube, pese a ser un país petrolero que comercializa el crudo y una parte lo transforma en combustibles, pero de todos modos la demanda supera lo producido lo que obliga a importar combustibles para satisfacer las necesidades, la mejora de combustible ecuatoriano se lo hace al mezclarlo con otros combustibles importados para mejorarlo. “En 2022 Ecuador importó el 70% de combustibles que consume su mercado interno, lo que representó un costo de USD 7.646 millones. Se trata de una cifra nunca antes vista. La importación de diésel,

gasolina y gas licuado de petróleo representa, además, un aumento del 69% frente a 2021 cuando ese gasto sumó USD 4.523 millones, según Petroecuador.”

<https://www.primicias.ec/noticias/economia/ecuador-importacion-historica-cifra-combustibles/>.

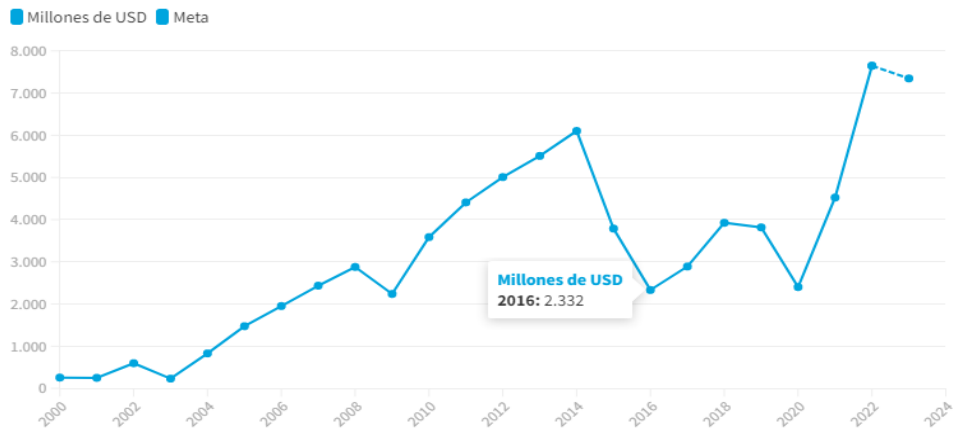
Permitiendo en los últimos gobiernos empezar a quitar los subsidios en los combustibles que se lo hace de forma sistemática y progresiva, el subsidio de la gasolina Super ya no existe y se han incrementado los otros combustibles. Lo que de una manera facilita la comercialización de autos eléctricos en el país, sin ser la una de las causas principales ya que se la electro movilidad se enfoca en el cambio energético y las condiciones climáticas que cada vez son más inclementes con la naturaleza y el hombre.

Según datos obtenidos de la Asociación de empresas automotrices de Ecuador AEADE en el año 2020 se vendieron un total de 88 Evs (Vehículos Eléctricos), en comparación con el año 2021 donde sus ventas incrementaron en 268 unidades vendidas y en el actual año solo hasta el mes de febrero se han vendido un total de 103 unidades.

Se manifiesta una tendencia de crecimiento del parque automotor eléctrico en el territorio nacional, lo que genera la discusión de un estudio que nos permita estimar el crecimiento de este parque automotor en 5 años y cuál sería el impacto ambiental que estos tendrían en cuanto a demanda energética y gestión de residuos como baterías y componentes electrónicos y eléctricos que Poseen este tipo de vehículos, lo que permitirá un crecimiento de la demanda energética del país por el uso de electricidad en lugar de combustibles fósiles.

Figura #1

Demanda de combustibles en el Ecuador en millones de dólares



Fuente: BCE y Petroecuador • Gráfico: Mónica Orozco – PRIMICIAS El dato de 2023 es la proyección del BCE

MARCO TEÓRICO

Los automóviles para realizar su trabajo utilizan energía que proviene de los combustibles fósiles, los más utilizados el diésel para la transportación, carga y parte de los vehículos domésticos, la gasolina para las unidades pequeñas o de uso doméstico taxis, entre otros, estos combustibles fósiles se queman para producción trabajo térmico utilizado para la movilización, esta quema es un proceso de combustión interna que generan gases nocivos para el ambiente, así como para los seres vivos. La liberación de gases de escape por los vehículos depende de muchos factores dentro de los cuales podemos citar condiciones del automóvil, la norma que los rija las características de uso, la tecnología entre otros factores como los geográficos. Esos tipos de vehículos queman combustible para producir la energía que alimentan el motor.

El combustible extraído del tanque y llevado a los cilindros del motor donde cada uno de ellos aspira gasolina/diésel en secuencias junto con la cantidad necesaria de aire para el proceso de oxidación. La chispa eléctrica en motores gasolina o presión – temperatura en el caso de motores diésel, encienden la mezcla aire-combustible dando como resultado la expansión repentina de volumen dentro de los pistones del motor que genera movimiento alternativo rotatorio necesario es para la producción de trabajo. Este movimiento de los pistones hace que el eje de transmisión gire multiplica la fuerza del motor en la caja de cambios, siendo la responsable de transmitir el movimiento a los ejes de propulsión y de esta manera girar los neumáticos que producen la propulsión del auto con el firme.

La llegada de los automotores eléctricos minimiza la utilización de combustibles fósiles para generar energía, estos utilizan energía eléctrica que se almacenan en baterías posterior a una carga de las mismas, este almacenamiento se va entregando de acuerdo a la utilización del vehículo, la autonomía es un limitante no por la distancia recorrida sin por la falta de lugares de recarga y lo más importante por el tiempo que toma la recarga de energía, aun no hay lugares donde se puedan cargar con normalidad y lugares de repostaje eléctrico con mayor frecuencia, pero que son una alternativa positiva para la mejora del cambiante clima (cambio climático). NO es menos cierto que un motor eléctrico no genera GEI (gases de efecto invernadero) y la cantidad

de CO₂ generada es por la forma de generar la electricidad, en lagares del mundo la generación es por medio de termo eléctricas que sumado a las baterías y demás componentes hacen que los autos eléctricos pueden producir más cantidad de GEI.

El motor eléctrico es responsable de propulsar las ruedas motrices del vehículo. Algunos modelos tienen dos motores colocados en cada eje del coche, esto depende de las características constructivas de cada fabricante o en su defecto solo colocan uno. Al ser eléctricos no producen emisión de efecto invernadero. Es bien sabido que, a finales del siglo XIX, los coches eléctricos eran muy comunes debido a la simplicidad de la tecnología. Se ha observado que, en 1899, El 90 por ciento de los taxis de Nueva York eran eléctricos. Los vehículos eléctricos (EVs) se considera que ayuda a reducir los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero.

No es menos cierto que los combustibles fósiles son una fuente de energía no renovable y que su precio depende de algunas variantes que hacen que sea inestable pensar en el cambio energético mundial, esto no solo afecta el cambio climático sino también las economías de muchos países incluido el Ecuador. Siendo la electricidad una energía renovable y que en el Ecuador la gran mayoría depende de fuentes limpias como las hidroeléctricas el desarrollo de los autos eléctricos en el país se ven muy bien sustentado.

Aunque los vehículos eléctricos se los denomina como ecológicos, existen algunos desafíos de análisis para poder concluir con la definición propuesta. Uno de ellos es la baja capacidad de la batería, así como su elevado costo. El pequeño número de estaciones de carga también plantea un desafío en este momento. Si más personas comienzan a usar coches eléctricos, la demanda de electricidad de las centrales hidroeléctricas aumentará y habrá que determinar si esta demanda se la pueda cubrir.

El estudio pretende determinar las causales de la huella de carbón que se generará en los próximos cinco años y si ese efecto es beneficioso para el país y lo más importante mirar como esto contribuye de forma positiva o negativa al impacto a la casa grande, la casas de todos el Planeta Tierra.

2.1 Electricidad y Emisiones de Carbono en Ecuador

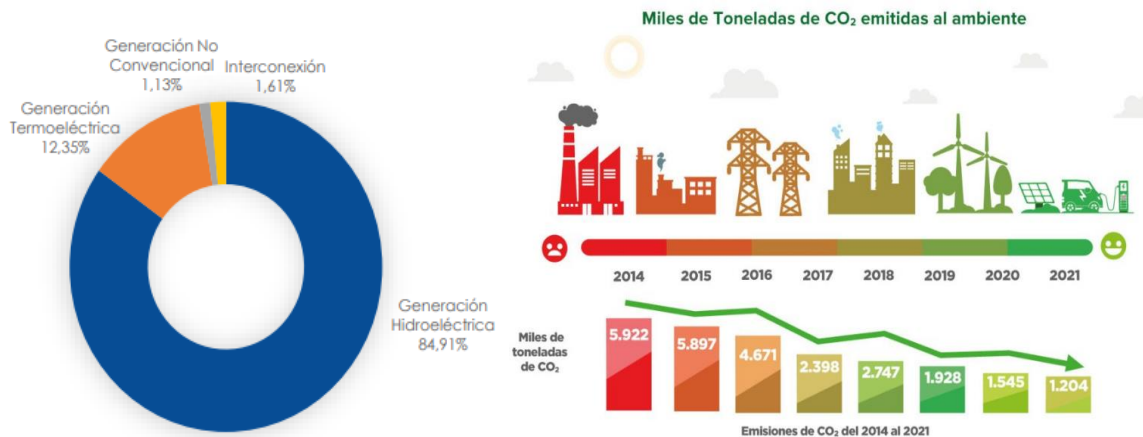
“Considerando el aporte del parque generador nacional y las importaciones por los enlaces internacionales, la energía bruta producida en el 2022 alcanzó los 28.870 GWh; valor que presenta un incremento del 3,02% respecto al año anterior, cuyo incremento se produjo en la

generación termoeléctrica e interconexiones. La generación hidroeléctrica ocupa el mayor porcentaje de producción con un 84,91% que corresponde a 24.512,86 GWh del total de energía bruta del año 2022” Cenace informe anual 2022. La energía producida en el Ecuador viene de diferentes fuentes de generación, la principal son la hidroeléctricas que gracias a la hidrografía del país permite no solo tener una sino varias fuentes de este tipo que van a una red nacional de interconexión para el suministro nacional, la que le sigue en segundo lugar con mucho menor porcentaje es por fuente térmicas, es decir de motores de combustión interna movidos por distintos combustibles fósiles, como por ejemplo el diésel, el bunker, entre otros, permitiendo hacer un análisis positivo al mirar la reducción en los últimos años el consumo de energías provenientes de las termoeléctricas, en porcentajes mucho más bajos las energías alternativas donde se puede encontrar las fuentes eólicas, fuentes solares, entre otras que de alguna manera se están introduciendo en el sector productivo energético pudiendo ser una de las alternativas de incremento a futuro por tratarse de fuentes limpias. El incremento de los vehículos eléctricos genera una mayor demanda energética, donde la mirada productiva energética para cubrir las nuevas demandas genera un reto que se debe enfocar en cubrir la necesidad con la utilización de energías limpias y renovables, preponderando políticas de eliminación de las fuentes de energía termoeléctricas, las fuente donde se pueden aplicar la nuevas tendencias pueden ser por las condiciones del país eólicas que aprovechan las corrientes de aire a cielo abierto, o las fuentes de energía solar que no generan residuos contaminantes en especial en Ecuador que se encuentra localizado en la mitad del mundo y tienen una recepción solar inigualable.

2.1 Producción de energía y emisiones de CO₂ en el 2018 – 2022

Figura #2

Producción energética 2022



Fuente: CENACE 2022

La producción total de energía eléctrica del Ecuador, en 2018, fue de 29.243 GWh. La componente de energía eléctrica renovable fue de 21.224,31 GWh, que representó un 72,58% del total; mientras que la no renovable 8.019,28 GWh, con un valor de 27,42%.

La producción en el S.N.I. por tipo de energía estuvo integrada por: renovable 21.198,02 GWh (83,54 %) y no renovable 4.177,89 GWh (16,46 %), la facturación de energía a nivel de usuarios finales fue 21.051,74 GWh.

En los últimos años la producción hidroeléctrica ha mejorado su producción de energía limpia para el consumo nacional, esto no quiere decir que se ha podido eliminar la energía termoeléctrica por completo, pero es notorio que la utilización de energías limpias está llevando la delantera con respecto a las de producción de energías no renovables y contaminantes.

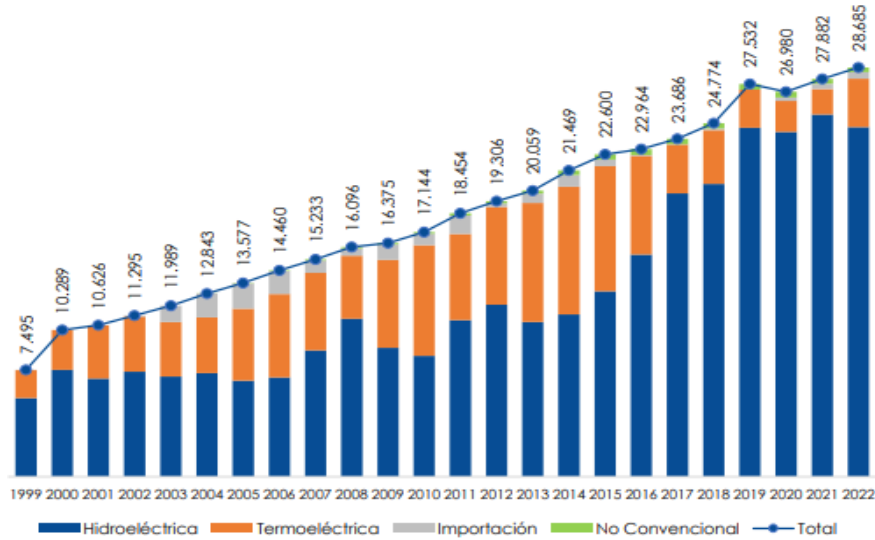
Así se puede ver las políticas gubernamentales que impulsan la disminución del CO₂ que son los grandes causantes del cambio climático, en la gráfica se identifica la reducción de los últimos años con una tendencia sostenible a la baja, esto viene da la mano de la reducción de las fuentes termoeléctricas y la ampliación de fuentes renovables como las hidroeléctricas y la implementación de otras energías renovables como la solar y eólica.

El cambio de la matriz productiva en el parque automotor de combustibles fósiles a eléctricos requiere de una mayor demanda energética, el país por sus recursos naturales hídricos y con una buena gestión puede solventar la demanda con una generación renovable energética, se puede apuntar a la generación solar por el puesto estratégico del país en el globo terráqueo, y

demás aprovechas las condiciones geográficas para una generación eólica y suplir el incremento en la demanda.

Figura #3

Producción de energía por tipo de producción (GWh). 1999 -2022



Fuente: Cenace informe anual 2022

2.2 Huella de carbón según su fuente energética

Cada fuente de electricidad emite una cantidad diferente de dióxido de carbono por unidad de energía producido. El término utilizado para describir esta huella de carbono de la fuente de electricidad se denomina el Factor Carbono. La unidad del factor de carbono es gCO2/kWh. La Tabla 1 presenta el Carbono Factor para cada fuente de energía. De Acuerdo con (Pentland , 2011).

Tabla # 1

Huella de carbón de acorde a la fuente energética

Fuente de Electricidad	Factor de carbono (gCO2 / Kwh)
Termica	786
Gas	170

Hidroeléctrica	7
Renovables	41.25

Fuente: Pentland, 2011

2.3 Parque automotor en Ecuador

De acuerdo con la AEADE en el a actualidad en el Ecuador existen un total de 2.772.180 vehículos, estos vehículos demandan una cantidad de energía enorme de combustibles fósiles, la gran mayoría viene por los derivados del petróleo, que son la mayor fuente de generación de GEI, generando una tendencia al inicio de cambio energético de los autos híbridos, en la actualidad la tendencia mundial es apuntar a los autos 100% eléctricos, como es lógico al inicio no existe demanda eléctrica, en el correr de los últimos años se están introduciendo en el parque automotor del país autos eléctricos, el año 2022 tuvo un venta de 405 unidades que hace unos cinco años no pasaba de 20 unidades por año, datos tomados de la AEADE.

2.3.1 Venta de autos eléctricos en Ecuador.

Figura #4

Venta vehículos eléctricos por marca y modelo 2019 - 2022

VENTAS DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS POR MARCA Y MODELO - EN UNIDADES, 2019-2022

MARCA	MODELO	2019	2020	2021	2022
SKYWELL	SERIE ET5	-	-	2	83
AUDI	AUDI E-TRON	-	-	20	58
DONGFENG	SERIE RICH	-	-	33	50
ZHIDOU	D1	-	-	12	34
BYD	BYD T3	-	5	-	29
MERCEDES BENZ	CLASE EQ	-	-	-	22
MINI	COOPER	-	-	-	13
JAC	E JS1	-	-	-	12
HYUNDAI	KONA	-	-	-	11
BYD	BYD E5	1	6	-	10
OTRAS	-	102	95	281	83
TOTAL	-	103	106	348	405

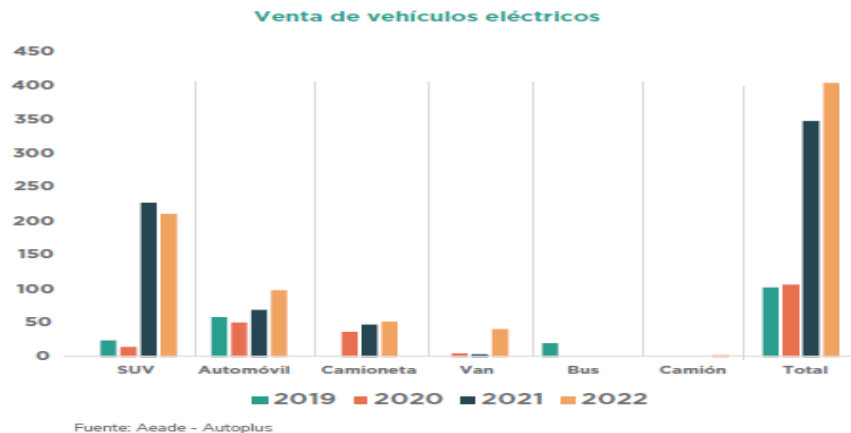
Fuente: AEADE ASOBLANCA

El incremento sostenido que está ocurriendo en el parque automotor eléctrico se enfoca en tratar de baja la huella de carbón de los autos convenciones, es importante por cuestiones medioambientales como principal causa, el estudio permite tener una idea clara de lo que ocurre con los autos eléctricos posterior a la toma de datos.

2.3.2 Tipos de autos eléctricos vendidos en Ecuador

Figura #5

Ventas vehículos eléctricos



Fuente: AEADE ASOBLANCA

3. MATERIALES Y METODOS

La investigación tiene una metodología experimental porque acusa a datos estadísticos con poca información de vehículos vendidos en los últimos años, esto se debe al reciente cambio de energía vehicular y el recelo que causa en los usuarios al inicio, un análisis matemática numérico planteado una estimación del crecimiento del parque automotor EV en el país en un lapso de cinco años, mediante un modelo de regresión lineal simple para estimar la demanda energética y el impacto ambiental de dichos vehículos en KgCO₂/ Kwh.

3.1 Estimación del crecimiento del parque vehicular EV

El modelo de regresión lineal permite estimar la relación que existe entre una variable dependiente (variable respuesta), con una relación de variables independientes (variables explicativas).

La regresión lineal simple explicar la relación que existe entre la variable respuesta que es de donde se estima los datos a proyectar con una única variable explicativa X que son los datos de entrada.

Mediante las técnicas de regresión de una variable Y en relación a la variable X, busca una función que sea aproximación muy cercana a la realidad de una nube de datos que se reflejan como puntos estadísticos.

La ecuación matemática de regresión lineal simple:

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon \quad \text{Eq. (1)}$$

En donde α es la ordenada en el origen (el valor que toma Y cuando X vale 0), β es la pendiente de la recta (e indica cómo cambia Y al incrementar X en una unidad) y ε una variable que incluye un conjunto grande de factores, cada uno de los cuales influye en la respuesta sólo en pequeña magnitud, a la que llamaremos error. X e Y son variables aleatorias, por lo que no se puede establecer una relación lineal exacta entre ellas, la cual será empleada para proyectar y estimar el crecimiento del parque vehicular Eléctrico mediante una proyección lineal donde se realizará de los años año 2015 hasta el 2022 en base a datos del informe de AEADE año 2022, posterior a esto se realizará la proyección del crecimiento a 5 años del parque vehicular eléctrico en el Ecuador.

3.2 Demanda energética

La CENAE hace un estudio pormenorizado cada año, donde se van determinado las metas propuestas, así se puede mencionar que una de ellas es bajar el nivel de CO₂ cada año de la generación eléctrica en le país. La revisión bibliográfica ha proporcionado información sobre cuánta electricidad se genera en Ecuador anualmente, cuánto se incrementa la demanda anual para el periodo 2018 – 2023. El siguiente paso de la metodología es determinar el aumento de la demanda de electricidad al incrementar la población de Evs en Ecuador. Con el fin de proyectar un número apropiado que tenga concordancia con la nueva demanda, se ha encontrado importante descubrir cuáles son los vehículos eléctricos populares que se utiliza para determinar el valor promedio del consumo eléctrico entre los coches eléctricos más populares en función de la cuota de mercado de cada marca y sus especificaciones. Determinado mediante la siguiente ecuación:

$$EC_{total} = \sum_{i=1}^n (EC_i \times PP_i) \quad \text{Eq. (2)}$$

EC representa el consumo eléctrico en (kWh/100km) y PP es el Porcentaje Proporción de los vehículos según la popularidad de la marca, representada como (valor) en porcentaje; n es el

número de automóviles incluidos en la investigación que son el resultado de los datos estadísticos que brinda la AEADE en su anuario último.

Para determinar el kilometraje anual recorrido por un auto y cuál es la energía media de consumo eléctrico y la demanda de energía de un solo coche se puede determinar cómo:

$$RE = (ADT \div 100) \times AEC \quad \text{Eq. (3)}$$

RE representa la Electricidad Requerida para un solo auto eléctrico (kWh), ADT es la Distancia Anual Recorrida (km), y AEC es el Consumo Eléctrico Promedio de un coche eléctrico (kWh/100km). Después de determinar RE, se multiplica por el número de vehículos ligeros de acuerdo a la proyección de unidades proyectadas a futuro.

Determinando las variables requeridas, se cuantifica la electricidad en un automóvil consumida en promedio y necesitaría para su movilidad.

Al multiplicar ese valor consumido por una unidad, al tener el número de unidades de automóviles Evs en Ecuador por año de la proyección, se puede estimar la electricidad anual requerida para alimentar todos los vehículos eléctricos durante un año y así ir determinado el incremento las necesidades de consumo energético en crecimiento año por año.

3.3 Emisiones de carbón

El aporte bibliográfico ha proporcionado información útil sobre la cantidad de emisiones de carbono que producen los vehículos ligeros y el factor de carbono de cada fuente de electricidad en Ecuador para el período de 2015-2018, y la información necesaria sobre cuánta electricidad produce Ecuador por año y el factor de carbono de cada fuente. El nivel de emisión de carbono se puede calcular para cada fuente de energía utilizando la ecuación:

$$CE = AE \times CF \quad \text{Eq. (4)}$$

CE es la Emisión de Dióxido de Carbono de la producción de electricidad en kg; AE es la cantidad de electricidad en kWh; y CF es el factor de carbono de la fuente de energía en kgCO₂/kWh.

Tras el cálculo de la emisión de carbono de cada fuente, la emisión total de carbono para la estimación se calcula teniendo en cuenta la sumatoria de la generación eléctrica por porcentajes.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los datos base se han realizado de dos fuentes legalmente instituidas en el país, la una institución del gobierno que determina la generación eléctrica y si nivel de emisiones de CO₂ producto de esta generación, cabe destacar que hay una política de reducción misma que de evidencia año tras años en los reportes de la CENACE. El estudio pretende determinar bajo las características de consumo si el impacto del parque automotor eléctrico

La proyección de ventas nacionales de vehículos eléctricos en el país desde el año 2015 a hasta el 2022, a partir del 2023 hasta el 2028 es la proyección lineal de acuerdo a los datos estadísticos existentes, que serían las unidades existentes aproximados para los años venideros.

4.1 Unidades Vendidas desde el 2015 al 2022 y proyección lineal de ventas 2023 al 2028

Tabla # 2

Estimación crecimiento EV

		Vehículos eléctricos.													
		Ventas históricas							Proyección de ventas a cinco años						
Años		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Unidades		1,00	84,00	123,00	130,00	103,00	106,00	348,00	405,00	380,00	428,99	477,44	525,89	574,35	622,80

Fuente: Del Autor

La información obtenida de la venta histórica de este tipo de vehículos otorgada por la AEADE nos demuestra que estos han tenido un crecimiento lineal en los últimos años lo que nos permite hacer la proyección lineal para la identificación de unidades que circularan por el país, pero adicional a ello se necesita la información del tipo de vehículo para la determinar su consumo energético, así como la distancia que recorren en promedio para los autos de las mismas características que van a suplir.

Los autos Suv en el país se comercializan muy bien, es por ello que la demanda de eléctricos de este tipo ha sufrido un incremento de ventas, la tabla siguiente describe el comportamiento de las ventas y su proyección el ese segmento particular basados en datos obtenidos de AEADE.

Tabla # 3

Estimación crecimiento SUB EV

Vehículos SUV eléctricos.										
Años	Ventas históricas				Proyección a cinco años					
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Unidades	30	20	230	200	300	372	444	516	588	660

Fuente. Del Autor

Con las ventas y la descripción del vehículo se puede determinar el recorrido en promedio de los autos de este tipo, estos datos son tomados de datos estadísticos obtenidos de fichas técnicas de los vehículos con un consumo promedio de 15.3 KW/100KM.

Tabla # 4

Consumo energético SUBS EVS

Consumo de energía de autos SUV eléctricos										
Años	Ventas históricas				Proyección a cinco años					
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Consumo KW/KM	459	306	3519	3060	4590	5691,6	6793,2	7894,8	8996,4	10098
Consumo total anual	91800	61200	703800	612000	918000	1138320	1358640	1578960	1799280	2019600

Fuente. Del Autor

El Consumo total de los autos eléctricos sub para el período de cinco años es de 8812800 KW. Este mismo método se empleó para cada tipo de vehículo; los automóviles tienen una presencia de crecimiento importante en el parque automotor eléctrico, los datos de recorridos por año en el estudio están involucrados los taxis y algunos que se dedican a la misma actividad, pero sin formar gremios, los datos obtenidos se los coloca en las tablas, con un consumo de energías de 14.3 KW/100KM de recorrido.

Tabla # 5

Estimación y consumo energético autos Evs

Automóviles eléctricos.

Años	Ventas históricas				Proyección a cinco años					
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Unidades	60,00	50,00	70,00	100,00	105,00	119,00	133,00	147,00	161,00	175,00

Consumo de energía de automóviles eléctricos

Años	Ventas históricas				Proyección a cinco años					
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Consumo KW/KM	858	715	1001	1430	1501,5	1701,7	1901,9	2102,1	2302,3	2502,5
Consumo anual	257400	214500	300300	429000	450450	510510	570570	630630	690690	750750

Fuente: Del Autor

Los vehículos camionetas y vans no tienen aún mucho impacto de ventas, pero tiene creciendo y son tomadas en cuenta en la designación de la AEADE, con un consumo de energía de 18.9KW/100 Km de recorrido tanto las camionetas como las camionetas denominadas Vans.

Tabla # 6

Estimación y consumo energético camionetas Evs

Camionetas eléctricas.

Años	Ventas históricas				Proyección a cinco años					
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Unidades	0,00	30,00	45,00	55,00	77,50	95,50	113,50	131,50	149,50	167,50

Años	Ventas históricas				Proyección a cinco años					
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Consumo KW/KM	0	567	850,5	1039,5	1464,75	1804,95	2145,15	2485,35	2825,55	3165,75
Consumo anual	0	113400	170100	207900	292950	360990	429030	497070	565110	633150

Fuente: Del Autor

Tabla # 7

Estimación y consumo energético vans Evs

Van eléctricos.										
	Ventas históricas					Proyección a cinco años				
Años	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Unidades	0,0	6,0	3,0	0,0	1,5	1,2	0,9	0,6	0,3	0,0

Consumo de energía de Van eléctricos										
	Ventas históricas					Proyección a cinco años				
Años	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Consumo KW/100KM	0	113,4	56,7	0	28,35	22,68	17,01	11,34	5,67	0
Consumo anual	0	22680	11340	0	5670	4536	3402	2268	1134	0

Fuente: Del Autor

Por último, datos tomados dan cuenta del parque que se ha vendido, con un número muy inferior en especial en caso de los autobuses que solo se refleja una venta, los datos proporcionados por ICCT sobre el consumo energético de autobuses eléctricos articulados para distintos niveles de carga en el BRT nos describe un consumo para los autobuses de 1.23 KW/KM, a diferencia de otros tipos de autos más pequeños en éstos buses la medida de consumo es por kilómetro recorrido, por el volumen de pasajeros que llevan, dependiendo también de la capacidad de carga que tengan, para el estudio los buses son tipo es decir para una cantidad de 40 personas sentadas más el efluente de pie, al igual que los buses urbanos que recorren las ciudades hoy en día, si se le suma el trajín de estas para y arranca durante su jornada de trabajo, no es desconocido que los motores eléctricos consumen tres veces la cantidad de energía en el arranque por lo que el consumo se ve afectado. Con los camiones de pronto al manejar más carga deberían consumir más, pero no generan tantos arranques por lo que el consumo es menor llegando a tener un promedio de 1.11 KW/KM recorrido, estos datos se ven reflejados para los datos de entrada de información que son relevantes para determinar el impacto ambiental en el crecimiento de del parque automotor eléctrico.

Tabla # 8

Estimación y consumo energético buses Evs

Buses eléctricos.											
	Ventas históricas				Proyección a cinco años						
Años	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	
Unidades	23	0	0	0	-11,5	-18,4	-25,3	-32,2	-39,1	-46	

Consumo de energía buses eléctricos											
	Ventas históricas				Proyección a cinco años						
Años	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	
Consumo 1.23KW/KM	2829	0	0	0	-1414,5	-2263,2	-3111,9	-3960,6	-4809,3	-5658	

Fuente: Del Autor

Tabla # 9

Estimación y consumo energético camiones Evs

Camiones eléctricos.											
	Ventas históricas				Proyección a cinco años						
Años	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	
Unidades	0	0	0	5	5,00	6,50	8,00	9,50	11,00	12,50	

Consumo de energía de Camiones eléctricos											
	Ventas históricas				Proyección a cinco años						
Años	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	
Consumo 1.11KW/KM	0	0	0	550	550	715	880	1045	1210	1375	
Consumo anual	0	0	0	8250000	8250000	10725000	13200000	15675000	18150000	20625000	

Fuente: Del Autor

La información y datos de todos los modelos importados, consumo de energía promedio por segmento, se puede establecer una proyección real del impacto de CO₂ al medio ambiente con la producción de energía.

La demanda proyectada es la suma de todos los consumos de los vehículos eléctricos con los promedios de circulación, con esta información podemos determinar la cantidad de energía consumida y con los datos entregados por el ente generador de energía, determinar la huella de carbón en el lapso de cinco años con los vehículos proyectados, y determinar el impacto ambiental que esto puede ocasionar.

Tabla # 10

Proyección de demanda eléctrica de todos los vehículos

Proyección de demanda eléctrica por de todos los autos

Año	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Demanda Anual proyectada KW/KM	9176636	12380171	15134757	17889343	21206214	24028500

Fuente: Del Autor

La demanda total de energía de los autos eléctricos es de 99, 8156217 KW Durante los cinco años quiere decir que en promedio el consumo anual es de 19,963124 KW por año.

Como el gobierno tiene políticas de un mejor manejo ambiental, es por ello que dentro de la generación energética hay una tendencia a bajar las CO2 y con esa información podemos determinar el impacto ambiental anualmente que producen los autos eléctricos dentro del territorio nacional.

Datos de entrada.

Generación de electricidad 2020 **28685 GW**

Emissiones de CO₂ por la generación de luz **1204000 T**

Consumo proyectado por año de Energía autos eléctricos:

Tabla # 11

Datos proyectados de consumo eléctrico por año en KW

DATOS PROYECTADOS DE CONSUMO ENERGETICO POR AÑO EN KW					
2023	2024	2025	2026	2027	2028
9176636,25	12380170,95	15134757,2	17889343,4	21206214	24028500

Fuente: Del Autor

Tabla # 12

Producción en toneladas de CO2 por año de vehículos eléctricos

PRODUCCION EN TONELADAS DE CO₂ POR AÑO AUTOS ELECTRICOS					
2023	2024	2025	2026	2027	2028

0,385172391 0,519634855 0,63525353 0,75087221 0,89009174 1,008552

Fuente: Del Autor

La información determina que el impacto ambiental producida por los autos eléctricos en una proyección de cinco años es de 4,18957673 Toneladas de CO₂. Estudios demuestran que un solo vehículo a diésel con un cilindraje de 1.6 cc produce una cantidad de emisiones de 4TN de CO₂ por año. Hay que tener en cuenta que los vehículos eléctricos en su rodaje no generan emisiones de CO₂, la generación de GEI en los vehículos eléctricos está determinada por la producción de electricidad, esta depende de las fuentes de generación que en el país la mayor parte se la realiza por hidroeléctricas que son fuentes renovales y consideradas limpias, la segunda fuente de producción son termoeléctricas que utilizan combustibles fósiles que emite GEI, el sector eléctrico va minimizando la utilización de las termoeléctricas, y se están desarrollando fuentes limpias como eólicas, y solares.

CONCLUSIONES

La proyección de vehículos eléctricos en el país permite identificar el crecimiento en ventas anuales del parque automotor eléctrico en los próximos cinco años, con los datos del consumo energético que en los vehículos eléctricos es un dato indispensable, así como la autonomía del auto motor, es importante mencionar que el incremento del parque automotor se proyecta con un crecimiento importante, que vaya desplazando progresivamente a los autos de combustión no solo por ser ecológicos o limpios, sino también por el ahorro de dinero por su utilización, al ser un segmento nuevo va tomar su tiempo en ingresar de forma masiva, las circunstancias dan un diagnóstico que no llevara mucho tiempo y los nuevos vehículos tendrán más presencia de autos eléctricos.

La demanda energética del país dentro de los primeros cinco años no ser afectada ya que el incremento por el parque automotor eléctrico, la demanda energética aumentado en un 7% por los problemas del confinamiento por el Covid 19, el consumo para el 2022 fue de 26051 GW/H, fuente CENACE. Mientras que la generación fue de 28685 GW/H, pese al crecimiento por la restricción de la pandemia la entrega de energía se la realizo sin inconvenientes, el incremento energético a causa de la proyección eléctrica automotriz siempre va a estar por debajo de la energía generada.

El incremento energético se lo proyecto de acuerdo a las ventas realizadas en los últimos años, haciendo una proyección lineal de los autos con su consumo de acuerdo a las diferentes líneas de negocios que se comercializan en el país, el tiempo de la proyección es de cinco años y los datos obtenidos por año y por segmentos, esto permite hacer una sumatoria total del consumo de los diferentes tipos. Este aumento energético se los describe en la Tabla #11, de igual forma el impacto ambiental de los autos eléctricos viene determinado por el tipo generación de luz en el país, la CENACE publica todos los años el impacto ambiental en especial la emisión de CO₂ con ello se puede obtener la huella de carbón generado por el parque automotor eléctrico, los datos son los que se miran en la Tabla #12.

Asumiendo que el estado ecuatoriano cumpla con su objetivo de alcanzar el 90% de generación eléctrica de fuentes renovable e hidroeléctricas y que solo el 4,09% de la energía provenga de fuentes térmicas, donde las emisiones son de 14471,412 KT CO₂/año y representan una disminución del 23,68% en relación con el escenario de generación energética actual lo cual representaría una gran disminución en las emisiones de CO₂.

Bibliografía

- Aire. (2020, 28 de febrero). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: 20:21, marzo 9, 2020 desde <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aire&oldid=123880423>.
- Atmósfera. (2018, 27 de agosto). *Wikipedia, La enciclopedia a libre*. Fecha de consulta: 05:35, agosto 28, 2018 desde <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Atm%C3%B3sfera&oldid=110216778>.
- Galileo Galilei. (2020, 7 de febrero). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: 20:35, marzo 6, 2020 desde https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Galileo_Galilei&oldid=123381456.
- La atmosfera terrestre. (s. f.). Recuperado 22 de julio de 2016, a partir de http://recursostic.educacion.es/newton/web/materiales_didacticos/la_atmosfera_terrestre/index.htm
- La atmósfera terrestre. (s. f.). Recuperado 22 de julio de 2016, a partir de http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/1esobiologia/1quincena5/1q5_index.htm
- Contaminación atmosférica. (2018, 26 de agosto). *Wikipedia, La enciclopedia libre*. Fecha de consulta: 12:54, agosto 28, 2018

desde https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Contaminaci%C3%B3n_atmosf%C3%A9rica&oldid=110195850.

- Mal de montaña - Wikipedia, la enciclopedia libre. (s. f.). Recuperado 22 de julio de 2016, a partir de https://es.wikipedia.org/wiki/Mal_de_monta%C3%B1a
- Proyecto Biosfera. (s. f.). Recuperado 22 de julio de 2016, a partir de <http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/1ESO/atmosfera/contenidos.htm>
- (s. f.). Recuperado 22 de julio de 2016, a partir de http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//500/513/html/Unidad_03/pagina_1.html
- Cevallos, I. (2015). ¿Por qué los carros en la altura pierden potencia? Recuperado de <https://www.seminuevos.com/blog/por-que-los-carros-en-la-altura-pierden-potencia/>
- Human, D. M., Ullman, T.L. and Baines, T.M., Simulation of high altitude effects on heavyduty diesel emissions. SAE paper 900883. (1990).
- Rakopoulos, T. (2016). Solidarity: the egalitarian tensions of a bridge-concept. *Social Anthropology*, 24(2), 142-151. doi: 10.1111/1469-8676.12298
- Chaffin, C.A. and Ullman, T.L., Effects of increased altitude on heavy-duty diesel engine emissions. SAE Paper 940669. (1994).
- Desantes, J.M., Lapuerta, M and Salavert, J.M., Study on independent effects of diesel engine operating conditions on nitric oxide formation and emissions through schematical combustion simulation. Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol. 210. D02894. pp 71-80. (1996). Fenollosa, C. Aportación a la descripción
- Pentland , C. (2011). Carbon Footprint of Electricity Generation. Houses parliament of science and technology.

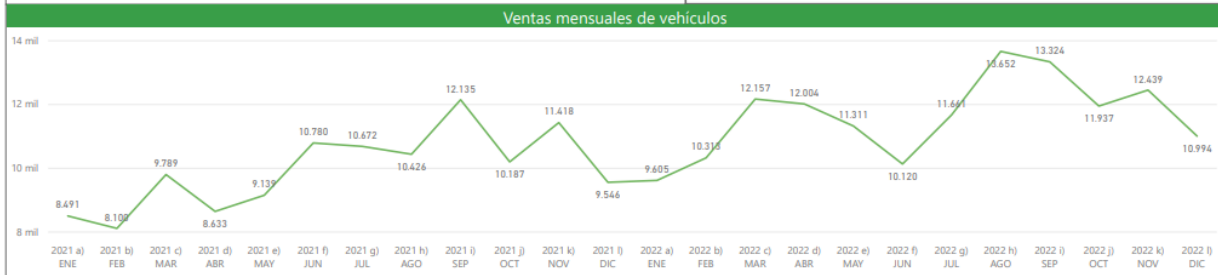
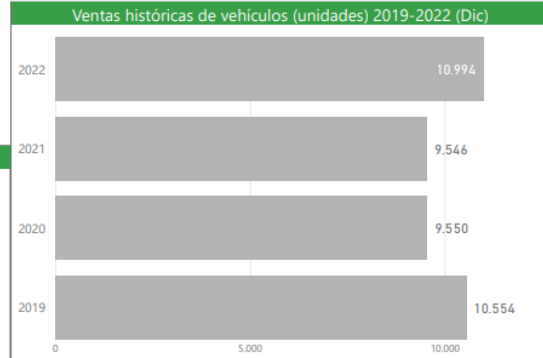
Anexos

Anexo 1 AEADE. Sector-en-Cifras-Resumen-Enero

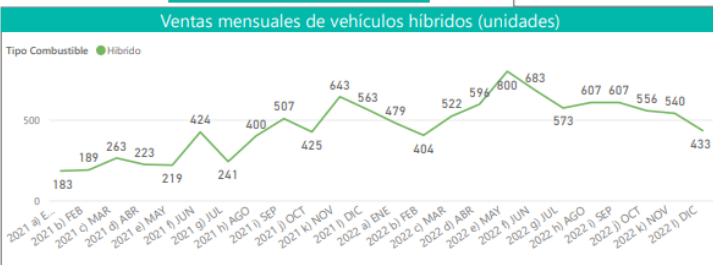
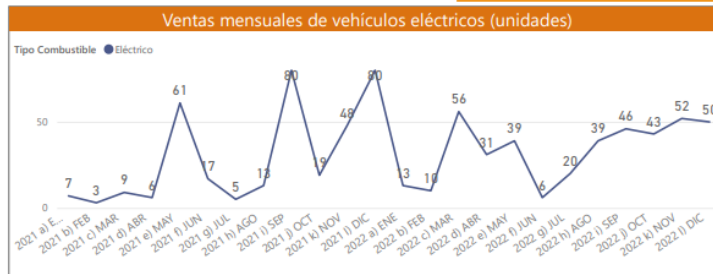




Venta de vehículos por segmento							
Segmento	Dic 22	Dic 21	Ene-Dic 22	Ene-Dic 21	Var Dic/Nov 22	Var Dic 22/21	Var Ene-Dic 22/21
SUV	5.042	4.321	63.793	50.254	-9,5 %	16,7 %	26,9 %
AUTOMOVIL	2.621	2.618	34.324	35.081	-17,7 %	0,1 %	-2,2 %
CAMIONETA	2.119	1.676	25.062	20.486	-6,1 %	26,4 %	22,3 %
CAMION	809	675	11.032	9.764	-12,8 %	19,9 %	13,0 %
VAN	286	214	4.355	3.377	-30,1 %	33,6 %	29,0 %
BUS	117	42	951	354	33,0 %	178,6 %	168,6 %
Total	10.994	9.546	139.517	119.316	-11,6 %	15,2 %	16,9 %



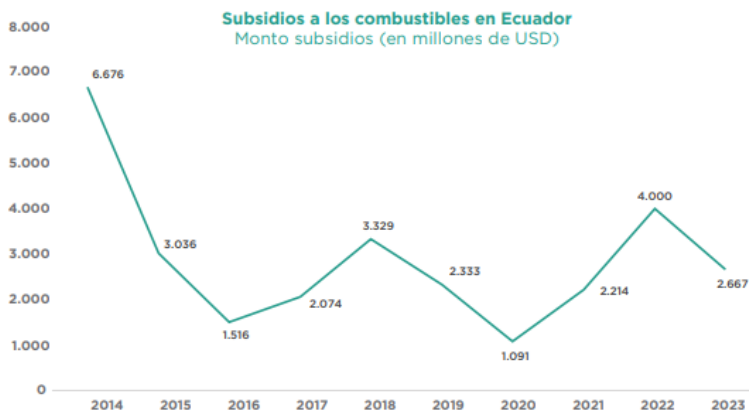
3 Fuente: AUTOPLUS - Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE).



6 Fuente: AUTOPLUS - Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE).

Anexo 2 AEADE. Anuario 2022

Anuario 2022



2020	1091
2021	2214
*2022	4000
**2023	2667.21

*Proyectado BCE
**Proforma
Fuente: Ministerio de Finanzas y BCE

Otro hito importante en 2022 fue que, por primera vez en la historia de Ecuador, una empresa privada importó gasolina de 95 octanos. Se trata de Primax. La compañía descargó 25.000 barriles de este combustible en diciembre de 2022, rompiendo el monopolio del mercado de gasolinas de la petrolera estatal Petroecuador.

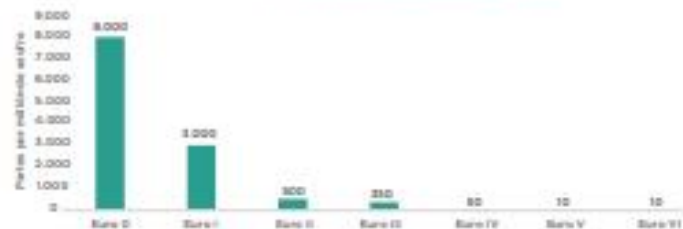


¿Qué tan contaminantes son las gasolinas de Ecuador?

Con las especificaciones actuales del Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), la Súper Premium cumple apenas con los parámetros de la norma Euro IV. El resto de las gasolinas en Ecuador —esto es, la Écopais, Extra y Écoplus— solo cumplen la Euro I.

Estas especificaciones ponen a Ecuador muy lejos de sus pares en la región, como Colombia, que cumple la Euro VI. El INEN mantiene acercamientos con Petroecuador para reducir los límites de azufre en las gasolinas.

Parámetros de las normas Euro



Impacto de la Súper Premium en el mercado

La mejora en cuanto a la reducción de emisiones contaminantes en el mercado automotor ha sido mínima. Esto se refleja en los datos de consumo de combustibles.

La venta de gasolina de alto octanaje ha venido cayendo desde 2018, cuando se liberó su precio. Y es que el ecuatoriano es un consumidor que se rige, principalmente, por el precio y no por la calidad de los combustibles. Así, con el incremento internacional del precio del

petróleo, que provocó un aumento del valor de las gasolinas, el consumidor ecuatoriano migró a gasolinas de menor calidad y más contaminantes, como la Extra y la Écopais.

Pese al cambio de la Súper por la Súper Premium, que es de mejor calidad, el peso de las gasolinas de alto octanaje continúa siendo marginal en el mercado. Con 127.000 barriles mensuales en 2022, la Súper Premium fue la gasolina de menor demanda entre los consumidores del país.

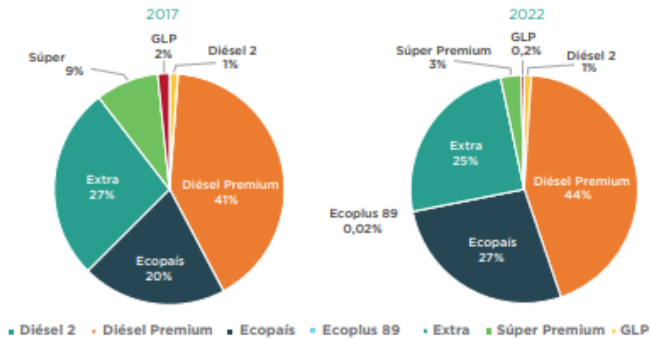
Lo anterior significa apenas 2,9 % del total de combustibles consumidos en el sector automotor. Se trata de una participación de mercado menor frente a 2017, cuando pesaba el 4,1 % del total de combustibles demandados por este sector.

**COMBUSTIBLES PARA EL SECTOR AUTOMOTOR
EN MILLONES DE BARRILES, ENTRE ENERO
Y NOVIEMBRE DE CADA AÑO**

	2017	2022
Diésel 2	0.56	0.49
Diésel Premium	19	21
Ecopais	9.4	13
Ecoplus 89		0.02
Extra	12.5	11.9
Súper*	4.1	1.4
GLP	0.75	0.2

* La Súper Premium reemplazo a la Súper desde el 26 de octubre de 2022.
Fuente: Petroecuador

**Combustibles para el sector
automotor**



Además, de acuerdo con la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, solo 529 estaciones de servicio vendían la Súper Premium hasta diciembre de 2022. Esto es menos de la mitad de las 1.200 estaciones que hay en el país.

Estas apuestas del sector privado son parte de la Estrategia Nacional de Electromovilidad para Ecuador, elaborada por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas y el Banco Interamericano de Desarrollo, con la colaboración de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (Aeade).

En esta propuesta, Ecuador definió como meta una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero del 9 % hasta 2025 en los sectores de energía, procesos industriales, residuos y agricultura.

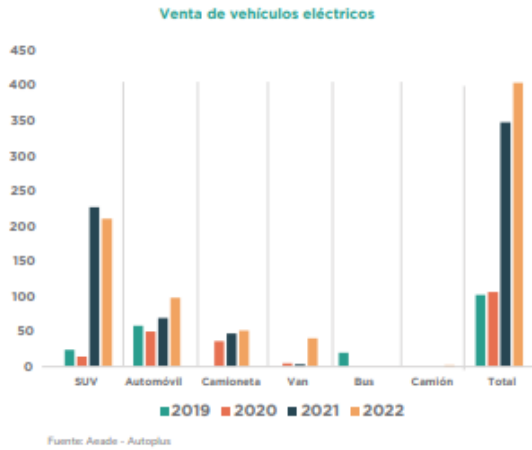
Con la estrategia se pretende contribuir a la descarbonización y la sostenibilidad del transporte terrestre en el Ecuador desde el punto de vista ambiental, social y económico, al convertirse en el instrumento para promover la adopción de la electromovilidad. Esto daría como resultado la reducción de emisiones contaminantes, el incremento de la eficiencia energética, ahorros para el Gobierno y beneficios para la salud.

El sector automotor ingresa con fuerza en la electromovilidad. En este contexto, las empresas automotrices privadas trabajan en sus estrategias. Para Kia Ecuador, por ejemplo, la apuesta por los vehículos eléctricos se traduce en el máximo cuidado del planeta y una mejor calidad de vida para las personas.

Kia Ecuador importó su primer vehículo eléctrico en 2016. Ahora, la empresa se plantea como compromiso estratégico ser los "proveedores líderes en soluciones de movilidad sostenible" hasta el 2030. En Ecuador impulsa la propuesta "Huella para un futuro mejor"

Diego Luna, gerente general de la compañía German Motors, representante de la marca Audi para Ecuador, señala que la firma enfoca sus esfuerzos en el desarrollo tecnológico y el ingreso de carros eléctricos. Audi vende dos tipos de vehículos en Ecuador: un SUV y un automóvil deportivo de cuatro puertas premium. En cambio, Kia Ecuador informó que el 2022 fue un año de crecimiento para Kia, no solo en el portafolio eco-amigable, sino en toda nuestra cartera, gracias a nuestras innovaciones tecnológicas, seguridad, diseño y confort.





La liberación de impuestos es un impulso para aplicar su estrategia de ingreso de los vehículos eléctricos. Hay varios incentivos tributarios y económicos, como la exención de impuestos, aranceles y tarifas eléctricas preferenciales para la carga de vehículos.

Sin embargo, es el momento para que la empresa privada y el sector público trabajen en el desarrollo de electrolineras. Audi tiene una electrolinera de carga rápida en sus instalaciones, en tanto que Kia cuenta con 37 puntos de carga en el país, de los cuales nueve son de carga rápida. Además, en conjunto con otras empresas y el Estado se instalaron electrolineras en varios lugares del país, indicó Kia Ecuador.

Hyundai es otra de las marcas que apuesta a la electromovilidad. Héctor F. Quirós, gerente de marketing, indica que Hyundai Ecuador se consolida desde el 2015 como una de las marcas pioneras en incorporar vehículos híbridos. A finales del primer semestre de 2022 se sumó el primer SUV 100 % eléctrico.

Anexo 3 AEADE. Anuario 2021

ANUARIO 2021

AEADE
ASOCIACIÓN DE EMPRESAS
AUTOMOTRICES DEL ECUADOR



1. Mejora en la calidad de combustibles (gasolina)

El 12 de febrero del 2021, el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) instaló el Comité Técnico de Normalización para iniciar el estudio del proyecto de documento normativo NTE INEN 935 (11R) Productos Derivados del Petróleo. Gasolina. Requisitos.

De acuerdo con las directrices del entonces ministro de Energía y Recursos Naturales No Renovables, René Ortiz, y para cumplir con el Decreto Ejecutivo 1158, el primer comité mantuvo los requisitos para la gasolina de 85 octanos (Extra) y la gasolina de 85 octanos con etanol (Ecopais), e incluyó una tabla de requisitos para la gasolina súper Euro 5 con 95 RON y 30 partes por millón (ppm) de azufre.

Tras varias reuniones, el 27 de julio del 2021 se aprobó por consenso la norma técnica

NTE INEN 935 (11R) Productos Derivados del Petróleo. Gasolina. Requisitos.

En Ecuador se comercializa gasolina de calidad Euro 2 y diésel de calidad Euro 1, con más de 200 ppm de azufre, e incluso en la zona de influencia de la refinería de Shushufindi alcanza las 5.000 ppm de azufre.

Nuestro país es el único de la región que no tiene gasolina de al menos 95 octanos RON. Incluso países como Bolivia y Venezuela tienen gasolina Euro 2, pero alcanzan 95 y 97 octanos RON. Otros, como Argentina, Brasil, México, Chile y Colombia, tienen gasolina Euro 5.

Lamentablemente, las tecnologías más desarrolladas en vehículos se limitan debido a la pésima calidad de combustibles. La AEADE trabaja para que la calidad de combustibles sea óptima.

ACTA DE REUNIÓN DE COMITÉ		NR-RE-04
COMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN		
"PETRÓLEO Y PRODUCTOS DERIVADOS DE PETRÓLEO, COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES DE FUENTES NATURALES O SINTÉTICAS"		
Acta No. 6 Fecha de la reunión: 2021-07-07		
Convocatoria Circular No. INEN-ONG-2021-0174-OR		
I. Antecedentes		
El martes 27 de julio de 2021 a las 11:15, mediante videoconferencia, se instaló la asamblea técnica reunida del Comité "Petróleo y productos derivados de petróleo, combustibles y lubricantes de fuentes naturales o sintéticas" con la presencia de las siguientes personas:		
Representante	Institución	
Dr. Carlos Barón (Presidencia)	Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE)	
Ing. Andrés Acosta	SEN del Ecuador	
Ing. Efraim Acosta	Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE)	
Ing. Pablo Benalcázar Flores	Escuela Politécnica Nacional	
Eng. Juan José Abad	Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE)	
Ing. Misery Corral	Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE)	
Ing. Adriana Pino	Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables	
Ing. Jefferson Sánchez	Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca	
Ing. Viviana Salas	Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables	
Ing. Rodrigo Chávez Medina	PETROLEROS	
Ing. José Jimeno	SINTEQUIMICA	
Dr. Johnny Naranjo Del Hoyo	Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (MERN)	
Ing. Luis Villaverde	REN - División Técnica de Monitoreo	
Ing. Rafael Rojas	FISUR S.A.	
Ing. Sofía Gallegos	GEL-OS	
Ing. Ezequiel de la Torre	Quilco Energy	
Ing. Luga Malacón	Quilco Energy	
Ing. Fausto Luis Sosa	PRIMAX	
Ing. Pamela Celis	EP-PETROECUADOR	
Ing. Santiago Guzmán	Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (MERN)	
Ing. Rafael Amador	EP-PETROECUADOR	
Ing. Roberto Cuadros	Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE)	
Ing. Pablo Chirinos Morera	Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables	
Revisión 1	Fecha: 08/08/21	Página 1 de 8



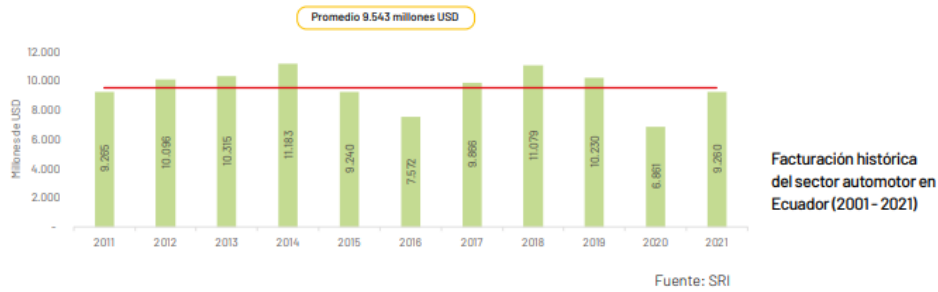
6. Ley Orgánica para el Desarrollo Económico y Sostenibilidad Fiscal tras la Pandemia Covid-19

El 24 de septiembre del 2021 se entregó a la Asamblea el Proyecto de Ley Orgánica de Creación de Oportunidades, Desarrollo Económico y Sostenibilidad Fiscal, que incluía reformas a la Ley de Régimen Tributario Interno y hubiesen impactado en el sector automotor porque incrementaba el ICE a los vehículos híbridos; subía impuestos a los vehículos eléctricos particulares; y aumentaba impuestos a las baterías, cargadores y cargadores para electrolíneas.

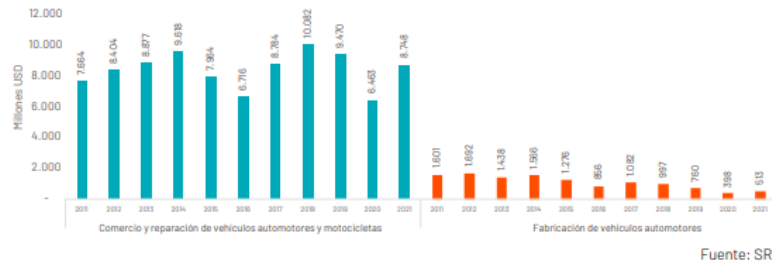
La Asamblea no aprobó la propuesta y el Ejecutivo envió un nuevo proyecto que entró en vigencia e incorporó cambios positivos que benefician al sector automotor, como:

- Se mantiene el 0 % de IVA a vehículos eléctricos, cargadores y baterías.
- Los vehículos híbridos están exentos del pago de ICE generando un ahorro de USD 2,6 millones al sector automotor.
- Se faculta al presidente de la república, mediante decreto ejecutivo, reducir las tarifas del ICE de bienes o servicios previo dictamen favorable del ente rector de las finanzas públicas.
- Se reestablece el fideicomiso en garantía para los vehículos.
- Se incorpora dentro del COPCI un capítulo de Buenas Prácticas Regulatorias que pretende reducir o eliminar las regulaciones innecesarias, repetitivas y contradictorias.





Facturación histórica por actividad del sector automotor (2001 - 2021)

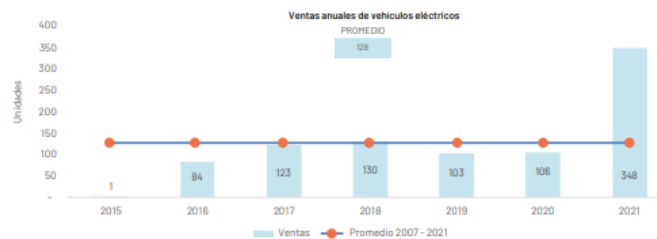
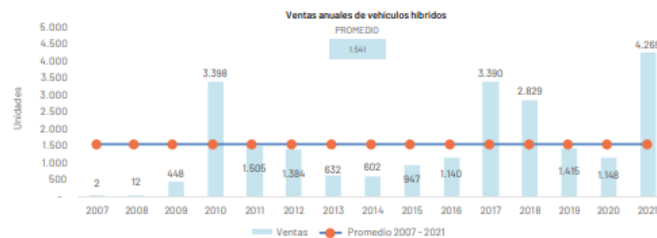


Nuevas tecnologías

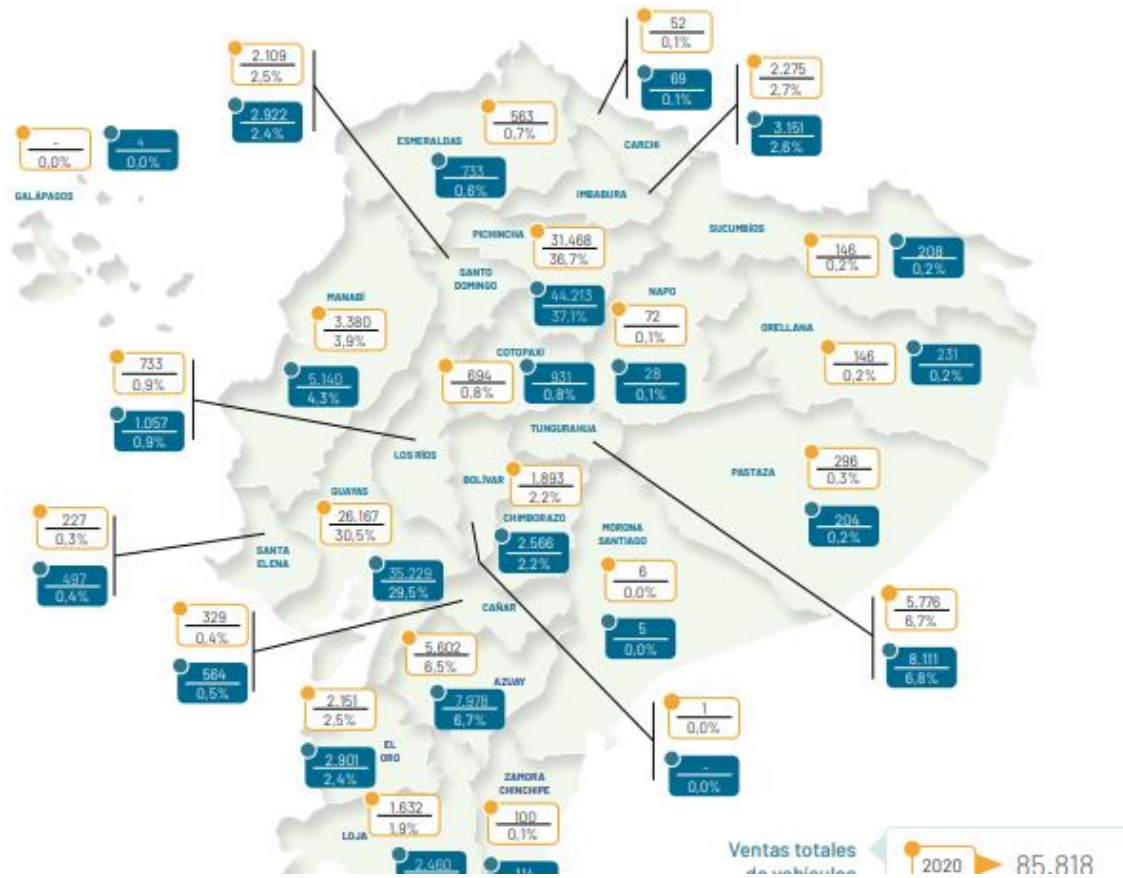
En el año 2021 se registró un récord de ventas de vehículos híbridos y eléctricos, con un total de 4.269 y 348 unidades, respectivamente. Esto marca una nueva tendencia hacia la electrificación de los automotores que ingresan al mercado ecuatoriano.

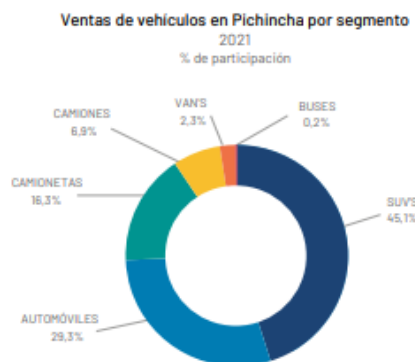
La tecnología que ha impulsado este nuevo repunte en Ecuador es la hibridación ligera (mild hybrid electric vehicles - MHEV). Sin embargo, los cambios normativos que exoneraron del impuesto a los consumos especiales a todos los vehículos híbridos, sin considerar su precio de venta al público, desde noviembre del 2021 podrá generar un mayor crecimiento en todos los tipos de vehículos híbridos en los meses venideros.

De la misma manera, los múltiples proyectos de apoyo a la movilidad sostenible han ayudado a incrementar la demanda de vehículos eléctricos en 228,3 % durante el 2021, al igual que la oferta de modelos eléctricos, que aumentó en 46%.



Ventas de vehículos por provincia
En unidades y % de participación 2020-2021





Fuente: Asade, Autoplus

PRINCIPALES MODELOS VENDIDOS EN PICHINCHA UNIDADES, 2020-2021

Modelo	Marca	2020	2021
STEPWAY INTENS FASE II AC 1.6 5P 4X2 TM	Renault	579	919
STDNIC TM	Kia	94	755
D-MAX CRODI 2.5 CD 4x4 TM DIESEL	Chevrolet	341	739
601	Shineray	110	723
GRAND I10 1.2 5P TM HB AC (CKD)	Hyundai	357	693

Fuente: Asade, Autoplus

VENTAS DE VEHÍCULOS EN UNIDADES POR SEGMENTO EN PICHINCHA, 2007-2021

PICHINCHA	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Suv's	9.737	10.656	11.323	14.709	14.066	12.533	12.857	14.939	10.242	7.577	14.806	18.972	18.442	13.099	19.936
Automóviles	15.757	18.431	14.505	22.842	23.718	19.929	17.562	18.809	11.728	10.480	17.776	22.579	20.516	10.428	12.935
Camionetas	8.004	11.355	8.968	9.865	9.874	9.497	8.790	9.082	5.468	3.645	4.888	6.581	6.198	4.601	7.187
Camiones	3.188	4.655	3.223	3.543	3.948	4.301	4.443	4.566	2.973	1.391	1.911	2.614	2.575	2.393	3.068
Van's	1.088	1.367	970	1.594	2.217	1.999	2.345	1.757	1.434	901	1.035	1.604	1.512	864	997
Buses	409	536	384	409	618	431	466	557	721	562	611	544	357	83	90
Total	38.183	47.000	39.373	52.972	54.441	48.670	46.463	49.700	32.566	24.556	41.027	52.894	49.800	31.468	44.213

Fuente: Asade, Autoplus

Anexo 4 CINAIE. Boletín vehículos Nuevos abril 2023



Boletín
Vehículos
Nuevos

CINAE

ABRIL 2023



Boletín
Vehículos Nuevos

CINAE
Cámara de la Industria
Automotriz Ecuatoriana



Venta
Histórica de
Vehículos



Ventas de
Vehículos
por Origen



Ventas de
vehículos según
motorización



Ventas de
vehículos según
categorías



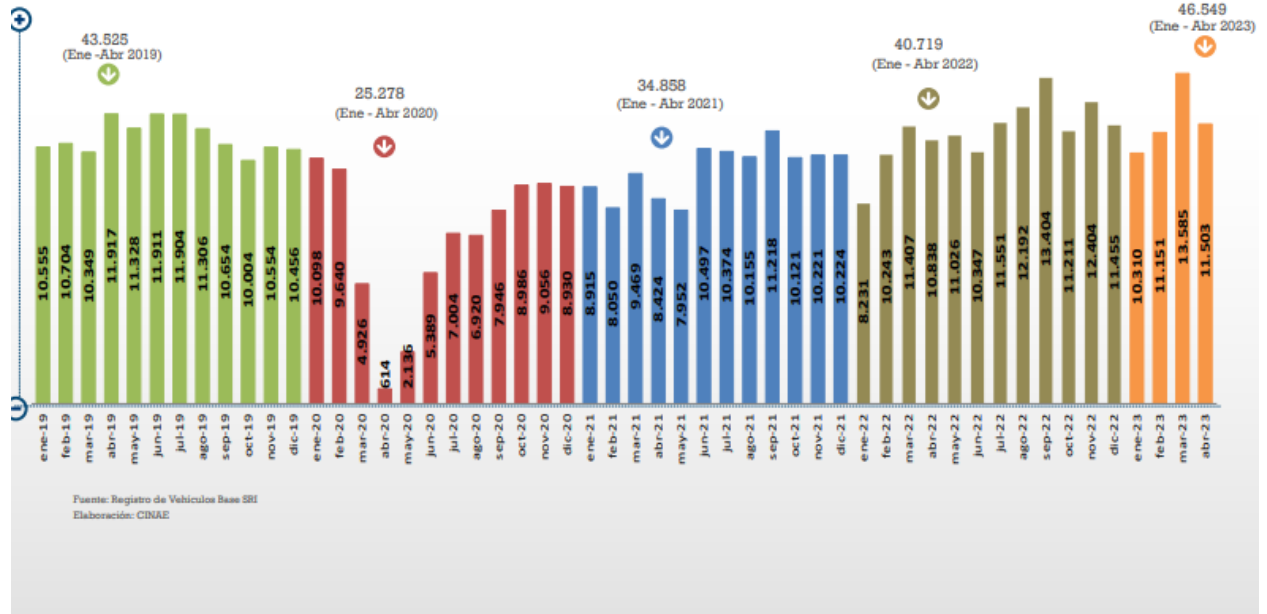
Modelos y
Marcas
prevalentes

Venta Histórica Total de Vehículos en Unidades

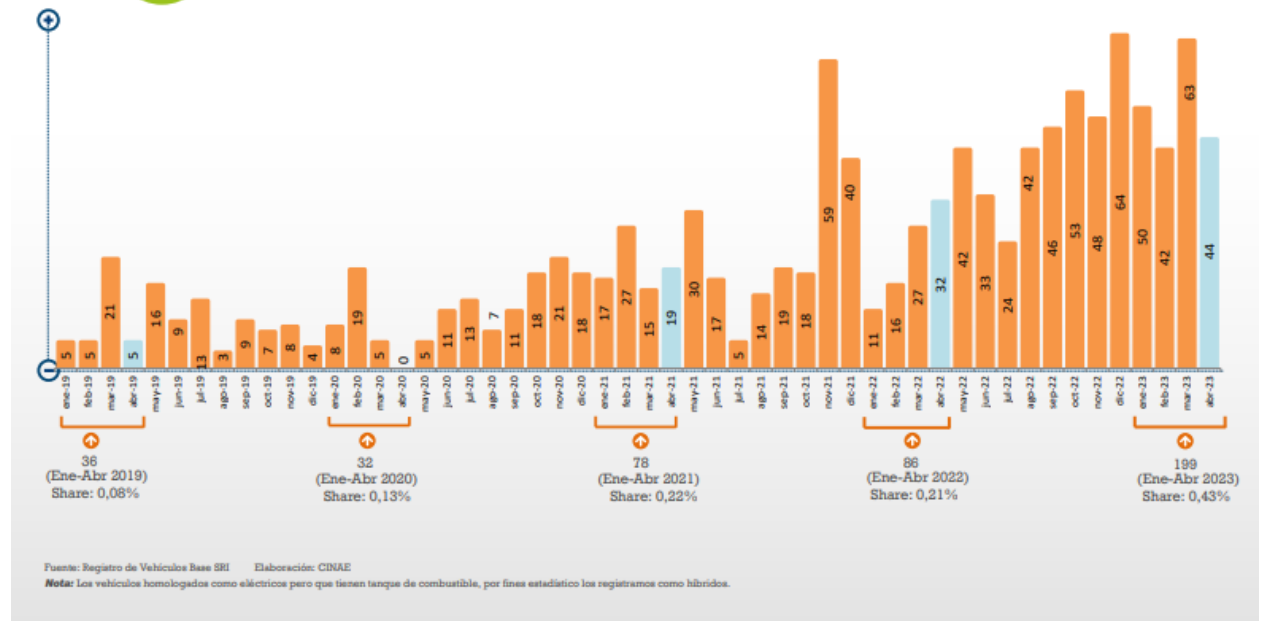


Fuente: Registro de Vehículos Base SRI
Elaboración: CINAE

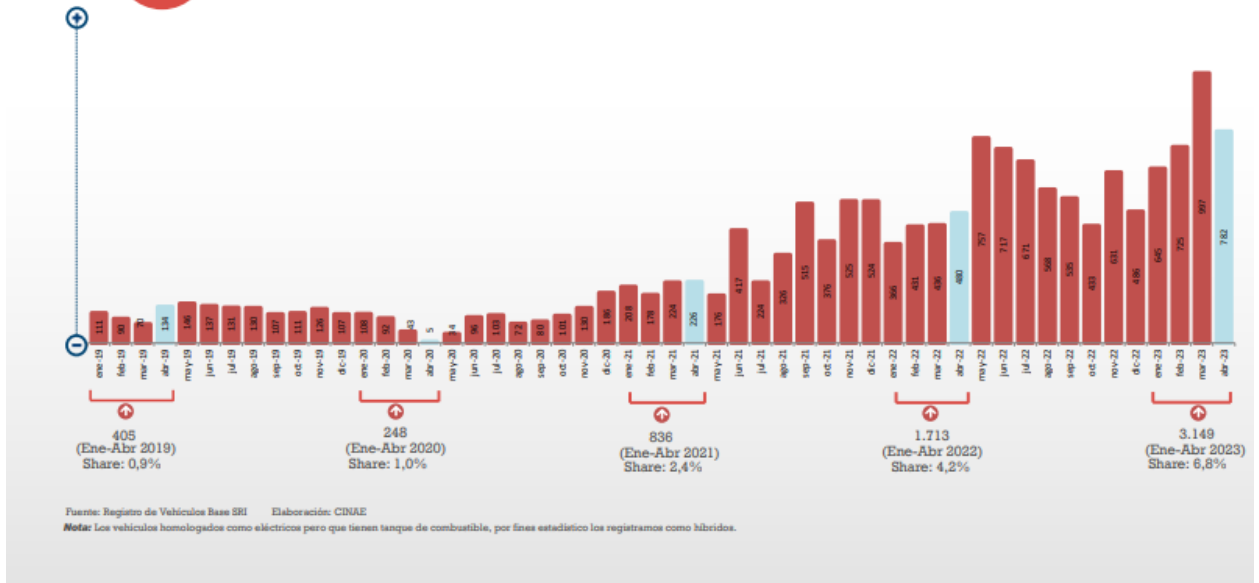
Venta Total de Vehículos en Unidades



Venta de Vehículos Eléctricos en Unidades



Venta de Vehículos Híbridos en Unidades



Anexo 5 AEADE. Sector Automotriz en cifras febrero 2023



SECTOR AUTOMOTOR

en cifras

Publicación exclusiva para los afiliados de AEADE

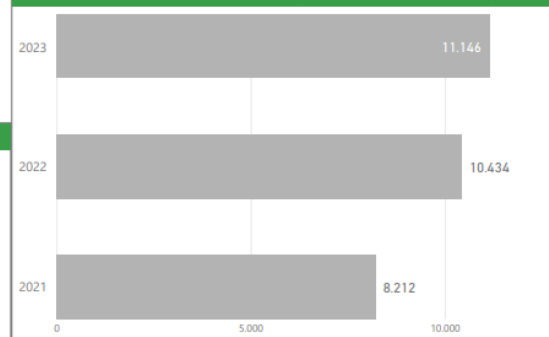
Febrero 2023 - No.79

Publicado el 29 de marzo del 2023

Núñez De Vela E 3-13 y Atahualpa
Edificio Torre del Puente, Piso 10
Teléfono: 02 226 9052 / 226 9056



Ventas históricas de vehículos (unidades) 2021-2023 (Feb)



Venta de vehículos por segmento

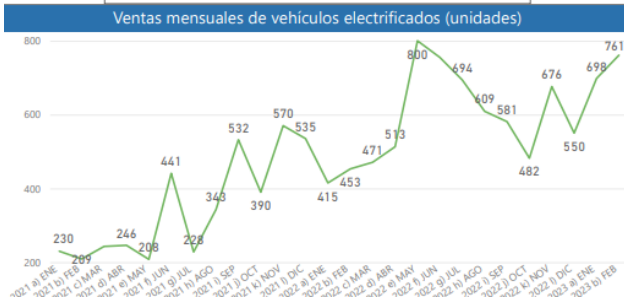
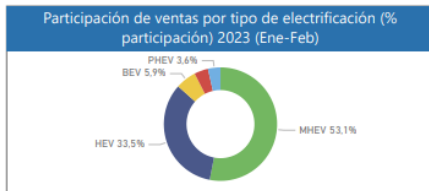
Segmento	Feb 23	Feb 22	Ene-Feb 23	Ene-Feb 22	Var Feb/Ene 23	Var Feb 23/22	Var Ene-Feb 23/22
SUV	4.901	4.704	9.529	8.508	5,9 %	4,2 %	12,0 %
AUTOMOVIL	2.913	2.624	5.779	5.221	1,6 %	11,0 %	10,7 %
CAMIONETA	2.044	1.879	3.904	3.367	9,9 %	8,8 %	15,9 %
CAMION	792	916	1.451	1.645	20,2 %	-13,5 %	-11,8 %
VAN	389	269	698	501	25,9 %	44,6 %	39,3 %
BUS	107	42	191	80	27,4 %	154,8 %	138,8 %
Total	11.146	10.434	21.552	19.322	7,1 %	6,8 %	11,5 %

Ventas mensuales de vehículos



SECTOR AUTOMOTOR **AEADE**

Ventas por tipo de electrificación



2021

Electrificación	a) ENE	b) FEB	c) MAR	d) ABR	e) MAY	f) JUN	g) JUL	h) AGO	i) SEP	j) OCT	k) NOV	l) DIC	Total
MHEV	170	145	157	159	130	139	123	164	241	215	276	244	2.163
HEV	41	34	71	66	46	282	93	160	269	151	233	238	1.684
BEV	17	27	15	20	31	19	5	14	18	19	58	45	288
PHEV	2	3		1	1	1	7	5	4	5	3	8	40
Total	230	209	243	246	208	441	228	343	532	390	570	535	4.175

2022

Electrificación	a) ENE	b) FEB	c) MAR	d) ABR	e) MAY	f) JUN	g) JUL	h) AGO	i) SEP	j) OCT	k) NOV	l) DIC	Total
MHEV	238	239	194	266	410	382	379	315	306	228	286	206	3.449
HEV	160	194	241	200	338	331	277	243	204	191	314	260	2.953
BEV	15	12	27	33	42	33	24	42	46	53	48	65	440
PHEV	2	8	9	14	10	9	14	9	25	10	28	19	157
Total	415	453	471	513	800	755	694	609	581	482	676	550	6.999

2023

Electrificación	a) ENE	b) FEB	Total
MHEV	367	407	774
HEV	235	254	489
BEV	46	40	86
EREV	15	43	58
PHEV	35	17	52
Total	698	761	1.459



Fuente: Base de matriculación del Servicio de Rentas Internas (SRI), 2023. Estimaciones de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (Aeade), 2023. Autoplus, 2023.

Anexo 6. Comisión Técnica de determinación de Factores de Emisión de gases de efecto invernadero. FACTOR DE EMISIÓN DE CO2 DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE ECUADOR – INFORME 2021



GUILLERMO LASSO
PRESIDENTE

**Ministerio de
Energía y Minas**

**Ministerio de Ambiente, Agua y
Transición Ecológica**

**Operador Nacional de
Electricidad**

**Agencia de Regulación y
Control de Energía y Recursos
Naturales No Renovables**



Referencias

- CENACE. (2022). Matriz Factor Emisión_CO2_SNI_2021. *Factor de Emisión de CO2 2021*. Ecuador.
- IPCC. (2013). *Bases físicas*. Organización Mundial de Meteorológica. Obtenido de [https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary_fg.html#:~:text=Greenhouse%20Gas%20\(GHG\),atmosphere%20itself%2C%20and%20by%20clouds](https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary_fg.html#:~:text=Greenhouse%20Gas%20(GHG),atmosphere%20itself%2C%20and%20by%20clouds).
- UNFCCC. (2018). *TOOL07*. Obtenido de Tool to calculate the emission factor for an electricity system: <https://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/tools/am-tool-07-v7.0.pdf>
- UNFCCC. (2021). *Clean Development Mechanism Methodology Booklet*. Boon: UNFCCC.



4. Resultados

Del presente informe se deben destacar los resultados más relevantes que se han presentado:

El factor de emisión que se debe considerar para proyectos de generación renovable es el margen combinado CM, considerando los criterios de las opciones de Ex Post y Ex Ante detalladas en el paso 6 de la sección 2.2. Estos resultados son válidos para proyectos térmicos e hidroeléctricos:

Factor Ex Ante $EF_{grid,CM,2019-2021} = 0,1879 \text{ tonCO}_2/MWh$

Factor Ex Post $EF_{grid,CM,2021} = 0,1477 \text{ ton CO}_2/MWh$

Estos factores son aplicables para:

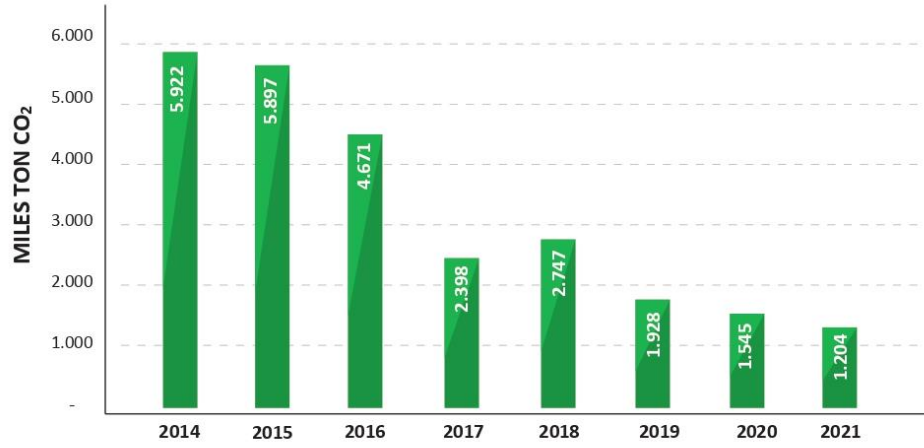
- Los proyectos que desplacen combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica del Sistema Nacional Interconectado; es decir, cuando una actividad de proyecto con energías renovables suministre electricidad a la red,
- Los proyectos que resultan en ahorros en el consumo de la energía eléctrica suministrada por la red (por ejemplo: proyectos de eficiencia energética, uso eficiente de energía)

Por otra parte, las emisiones de CO₂ en el cálculo de Huella de Carbono, corresponden proporcionalmente conforme se señala en la sección de resultados del Margen de Operación (OM). Esto aplica para el Sistema Nacional Interconectado, en el desarrollo de los siguientes estudios:

- Estimación de GEI por consumo de energía eléctrica en el año de operación,
- Inventarios de emisiones de GEI en el año de operación y,
- Cálculo de la huella de carbono empresarial o corporativa, mediante la cual se puede cuantificar las emisiones de GEI de una organización.



Miles de Toneladas de CO₂ emitidas al ambiente



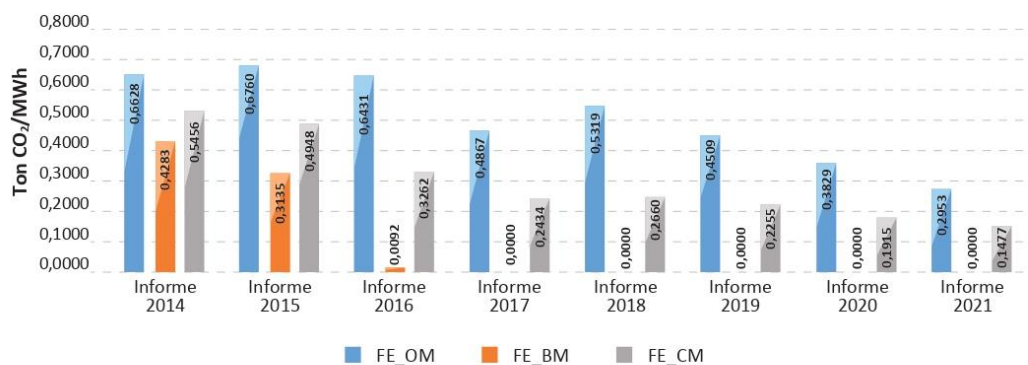
Gráfica Nro. 4 Emisiones de CO₂ del 2014 al 2021. Fuente (CENACE, 2022)

3. Evolución del factor emisión de CO₂

Este informe presenta el cálculo de los factores de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado dada la operación de los últimos tres años (2019, 2020, y 2021), considerando el ingreso de nuevas unidades de generación. Dicha información puede ser utilizada para realizar cálculos de las reducciones de emisiones de CO₂ de proyectos o estudios asociados a la eficiencia energética o ingreso de nuevas instalaciones de generación, verificando su impacto ambiental en la red eléctrica del país; así como también, se puede evidenciar las toneladas de CO₂ emitidas al ambiente por la utilización de combustibles fósiles en la generación de electricidad.

En esta sección se recopilan los resultados que se ha presentado en los informes del factor de emisión para los años 2014 al 2021; en la Gráfica Nro. 3 se presenta la evolución del factor de emisión de CO₂ anual del SNI en este periodo donde se muestra la participación del margen de operación (OM), el margen de construcción (BM), y el Margen Combinado (CM), para cada uno de los informes (escenario Ex Post).

Factor de emisión 2014 al 2021 (ex Post)



Gráfica Nro. 3 Evolución de los márgenes del Factor de Emisión. Fuente: (CENACE, 2022)

Del presente análisis que se ha realizado en los diferentes informes sobre el factor de emisión de CO₂ del SNI. En la Gráfica No. 4 se puede evidenciar las toneladas de CO₂ emitidas al ambiente por el abastecimiento de la demanda eléctrica del país, desde el año 2014 al 2021. Se identifica el incremento de la generación hidroeléctrica desde el año 2016 cuando empezaron a ingresar los grandes proyectos hidroeléctricos.



Las ponderaciones W_{OM} - W_{BM} son dependientes de la tecnología del proyecto de energía renovable que se quiere certificar, la metodología indica que se puede utilizar los siguientes porcentajes para ciertas tecnologías.

Tabla Nro. 10 Valores del factor de emisión de CO₂ del margen combinado ex Ante

TERMOELÉCTRICA, HIDROELÉCTRICA	
W_{OM}	0,5
W_{BM}	0,5

$$EF_{grid,CM,2019-2021} = 0,1879 \text{ ton CO}_2/\text{MWh}$$

EÓLICA, SOLAR	
W_{OM}	0,75
W_{BM}	0,25

$$EF_{grid,CM,2019-2021} = 0,2818 \text{ ton CO}_2/\text{MWh}$$

El factor CM ex ante se lo debe utilizar para los proyectos en fase de validación, por lo tanto, no se necesita realizar un nuevo cálculo durante el periodo de acreditación y es por ello que es la ponderación de los últimos tres años.

b) Opción ex post

$$EF_{grid,CM,2021} = EF_{grid,OM,2021}W_{OM} + EF_{grid,BM,2021}W_{BM}$$

Donde:

$EF_{grid,CM,2021}$ Factor de emisión margen combinado al año 2021 ($t \text{ CO}_2/\text{MWh}$)

$EF_{grid,OM,2021}$ Factor de emisión margen operación en el año 2021 ($t \text{ CO}_2/\text{MWh}$)

$EF_{grid,BM,2021}$ Factor de emisión margen de construcción en el año 2021 ($t \text{ CO}_2/\text{MWh}$)

Las ponderaciones W_{OM} - W_{BM} son dependientes de la tecnología del proyecto de energía renovable que se quiere certificar, la metodología indica que se puede utilizar los siguientes porcentajes para ciertas tecnologías.

Tabla Nro. 11 Valores del factor de emisión de CO₂ del margen combinado ex Post

TERMOELÉCTRICA, HIDROELÉCTRICA	
W_{OM}	0,5
W_{BM}	0,5

$$EF_{grid,CM,2021} = 0,1477 \text{ ton CO}_2/\text{MWh}$$

EÓLICA, SOLAR	
W_{OM}	0,75
W_{BM}	0,25

$$EF_{grid,CM,2021} = 0,2215 \text{ ton CO}_2/\text{MWh}$$

El factor CM ex post debe utilizarse una vez que el proyecto empiece a desplazar generación en la red eléctrica y debe ser actualizado anualmente durante la fase de seguimiento.

NORMANDIA U2	Hidroeléctrica	1/7/2018		0	0,0%	6,0%
NORMANDIA U3	Hidroeléctrica	1/7/2018		0	0,0%	6,0%
NORMANDIA U4	Hidroeléctrica	1/7/2018		0	0,0%	6,0%
NORMANDIA U5	Hidroeléctrica	1/7/2018		0	0,0%	6,0%
PALMIRA U1	Hidroeléctrica	1/12/2017		69.944	0,2%	6,2%
PALMIRA U2	Hidroeléctrica	1/12/2017		0	0,0%	6,2%
SIGCHOS U1	Hidroeléctrica	1/8/2017		133.252	0,5%	6,7%
SIGCHOS U2	Hidroeléctrica	1/8/2017		0	0,0%	6,7%
SIGCHOS U3	Hidroeléctrica	1/8/2017		0	0,0%	6,7%
DUE U1	Hidroeléctrica	1/6/2017		366.228	1,3%	8,0%
DUE U2	Hidroeléctrica	1/6/2017		11	0,0%	8,0%
PICHACAY MC U1	Térmico Biogás	1/5/2017	Renovable	0	0,0%	8,0%
CORAZON U01	Hidroeléctrica	1/3/2017		5.036	0,0%	8,0%
URAVIA U01	Hidroeléctrica	1/3/2017		4.980	0,0%	8,0%
JIVINO 1 MC U3	Térmico Diésel	1/12/2016		0	0,0%	8,0%
HIDROVICTORIA U1	Hidroeléctrica	4/11/2016		29.747	0,1%	8,1%
HIDROVICTORIA U2	Hidroeléctrica	4/11/2016		4	0,0%	8,1%
COCA CODO SINCLAIR U1	Hidroeléctrica	19/3/2016		6.599.583	23,5%	31,7%

(CENACE, 2022)

c) Tomando en cuenta los resultados de los dos grupos anteriores, se ha seleccionado las unidades que conforman el 20% de la generación eléctrica, con las siguientes consideraciones:

- Las unidades de generación entran en operación el día que inicia su suministro de energía a la red eléctrica.
- Las unidades de generación registradas como MDL se excluyen de la muestra *m*.

El Margen de Construcción con datos operativos del 2021 es el siguiente:

$$EF_{grid,BM,2021} = 0,00 [t CO_2/MWh]$$

2.2.7. Paso 6. Cálculo del Margen Combinado (CM)

El factor de emisión del margen combinado representa un promedio ponderado de los márgenes OM y BM calculados, como se muestra en las siguientes ecuaciones.

a) Opción ex ante:

$$EF_{grid,CM,2019-2021} = EF_{grid,OM,2019-2021}W_{OM} + EF_{grid,BM,2021}W_{BM}$$

Dónde:

$EF_{grid,CM,2019-2021}$ Factor de emisión margen combinado en los años 2019-2021
(*t CO₂/MWh*)

$EF_{grid,OM,2019-2021}$ Factor de emisión margen operación entre los años 2019-2021
(*t CO₂/MWh*)

$EF_{grid,BM,2021}$ Factor de emisión margen de construcción en el año 2021
(*t CO₂/MWh*)



representan el 0,1% de la generación total de la red eléctrica para el año de operación 2021, tal como muestra la Tabla Nro 8.

Tabla Nro. 8. Conjunto de las 5 unidades de generación recientemente ingresadas.

Unidad	Tecnología	Inicio de Operación	MDL	Generación Neta (MWh)	%	% acumulado
VINDOBONA U1	Hidroeléctrica	1/2/2021		378	0,0%	0,0%
CHALPI U2	Hidroeléctrica	1/4/2021		0	0,0%	0,0%
CHALPI U1	Hidroeléctrica	1/4/2021		32.581	0,1%	0,1%
PICHACAY MC U2	Térmico Biogás	1/7/2021	Renovable	0	0,0%	0,1%
EL LAUREL U1	Hidroeléctrica	1/11/2020		7.454	0,0%	0,1%
TOTAL				40.413	0,1%	0,1%

Fuente: (CENACE, 2022)

- b) Se establece un conjunto de las unidades de generación que representan el 20% de la generación del último año de operación y son parte del conjunto AEG SET->= 20%, para esto solo se consideran las unidades que tengan menos de 10 años de operación en la red eléctrica. En la Tabla Nro 9 se presenta este conjunto de unidades.

Tabla Nro. 9. Conjunto de las unidades que conforman el 20% de la generación eléctrica del 2021

Unidad	Tecnología	Inicio de Operación	MDL	Generación Neta (MWh)	%	Acumulado %
VINDOBONA U1	Hidroeléctrica	1/2/2021		378	0,0%	0,0%
CHALPI U2	Hidroeléctrica	1/4/2021		0	0,0%	0,0%
CHALPI U1	Hidroeléctrica	1/4/2021		32.581	0,1%	0,1%
PICHACAY MC U2	Térmico Biogás	1/7/2021	Renovable	0	0,0%	0,1%
EL LAUREL U1	Hidroeléctrica	1/11/2020		7.454	0,0%	0,1%
DUE U3	Hidroeléctrica	1/10/2020		92.691	0,3%	0,5%
HIDROPERLABI U1	Hidroeléctrica	12/7/2020		11.687	0,0%	0,5%
HIDROPERLABI U2F	Hidroeléctrica	12/7/2020			0,0%	0,5%
SAN JOSE DE MINAS U1	Hidroeléctrica	7/2/2020	R - 2008	0	0,0%	0,5%
LA CALERA U1	Hidroeléctrica	1/8/2019		6.072	0,0%	0,5%
LA CALERA U2	Hidroeléctrica	1/8/2019		0	0,0%	0,5%
LA CALERA U3	Hidroeléctrica	1/8/2019		0	0,0%	0,5%
SERMAA U1	Hidroeléctrica	1/8/2019		4.645	0,0%	0,6%
RIO VERDE CHICO U1	Hidroeléctrica	1/3/2019		82.383	0,3%	0,8%
RIO VERDE CHICO U2	Hidroeléctrica	1/3/2019		0	0,0%	0,8%
ISIMANCHI U1	Hidroeléctrica	1/12/2018		0	0,0%	0,8%
ISIMANCHI U2	Hidroeléctrica	1/12/2018		0	0,0%	0,8%
ISIMANCHI U3	Hidroeléctrica	1/12/2018		0	0,0%	0,8%
PUSUNO 1 U1	Hidroeléctrica	1/12/2018		208.409	0,7%	1,6%
PUSUNO 1 U2	Hidroeléctrica	1/12/2018		0	0,0%	1,6%
MINAS SAN FRANCISCO U1	Hidroeléctrica	1/10/2018	R - 2013	0	0,0%	1,6%
MINAS SAN FRANCISCO U2	Hidroeléctrica	1/10/2018	R - 2013	0	0,0%	1,6%
MINAS SAN FRANCISCO U3	Hidroeléctrica	1/10/2018	R - 2013	0	0,0%	1,6%
DELSITANISAGUA U1	Hidroeléctrica	1/9/2018		295.838	1,1%	2,6%
DELSITANISAGUA U2	Hidroeléctrica	1/9/2018		282.189	1,0%	3,7%
DELSITANISAGUA U3	Hidroeléctrica	1/9/2018		257.721	0,9%	4,6%
NORMANDIA U1	Hidroeléctrica	1/7/2018		392.421	1,4%	6,0%

Tabla Nro. 6. Resultados del Margen de Operación (OM) para el 2021

Parámetros		Unidad	
Lambda	λ_{2021}	0,5757	
Generadores de no bajo costo	$\sum_m EG_{m,2021} \times EF_{EL,m,2021}$	1.203.602	tCO_2
	$\sum_m EG_{m,2021}$	1.729.411	MWh
Generadores de bajo costo	$\sum_k EG_{k,2021} \times EF_{EL,k,2021}$	0,000	tCO_2
	$\sum_k EG_{k,2021}$	26.305.353	MWh
Factor de emisión de CO ₂ para el Margen de operación	$EF_{grid,OM-adj,2021}$	0,2953	tCO_2/MWh

Fuente: (CENACE, 2022)

Con referencia al margen de operación de los últimos tres años de estadística, se establece que el cálculo del factor de emisión del CO₂ Ex ante, la ponderación de los últimos tres años como se muestra en la Tabla Nro 7.

Tabla Nro. 7. Factor De Emisión Margen de Operación (OM) ex ante.

	2019	2020	2021
$EF_{grid,OM-adj,y} [tCO_2 / MWh]$	0,4509	0,3834	0,2953

	2019	2020	2021	Total
Generación anual [GWh]	27.482,40	26.924,31	28.035,76	82.441,48
Ponderación	33,34%	32,66%	34,01%	

Fuente: (CENACE, 2022)

$$EF_{grid,OM-adj,ex\ ante\ 2019-2021} = 0,3758 [tCO_2/MWh]$$

El cálculo del factor de emisión ex post se determina con los datos solo del año 2021,

$$EF_{grid,OM-adj,ex\ post\ 2021} = 0,2953 [tCO_2/MWh]$$

2.2.6. Paso 5. Cálculo del Margen de Construcción (BM)

Las unidades que deben ser incluidas dentro del cálculo BM se ha determinado conforme los siguientes parámetros:

- Tomando en cuenta el último año de operación, se debe establecer cuáles fueron las cinco unidades de generación que ingresaron a la red eléctrica, estas unidades constituyen el conjunto SET 5-units; en base a su generación se estima el porcentaje de participación en el año de estudio, para este cálculo



- $NCV_{i,y}$ se consideró la información disponible de Petroecuador sobre Poder Calorífico Neto utilizado para fuel oil 6, fuel oil 4, diésel, y residuo; los valores de Nafta y Gas Natural se tomaron de la Tabla 1.2. del Capítulo 1 de las Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006) correspondientes a Naphtha y Natural Gas, como lo muestra la Tabla Nro. 4.

Tabla Nro. 4. Poder calórico de los combustibles utilizados por el sector eléctrico.

Combustible	Poder Calorífico Neto (TJ/1000 ton)
Fuel oil	39,2
Diésel	40,8
Gas Natural	46,5
Nafta	41,8
Residuo	39,0
Bunker	39,7

Fuente: IPCC, PETROECUADOR

- $EF_{CO_2,i,y}$ el factor de emisión por cada tipo de combustible tiene como referencia la Tabla 1.4 del Capítulo 1 de las Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC 2006, utilizando el límite inferior del inventario al 95% de confianza, los criterios para seleccionar los factores de emisión de los combustibles son similares a los indicados para el Poder Calorífico Neto como se indica en la Tabla Nro. 5.

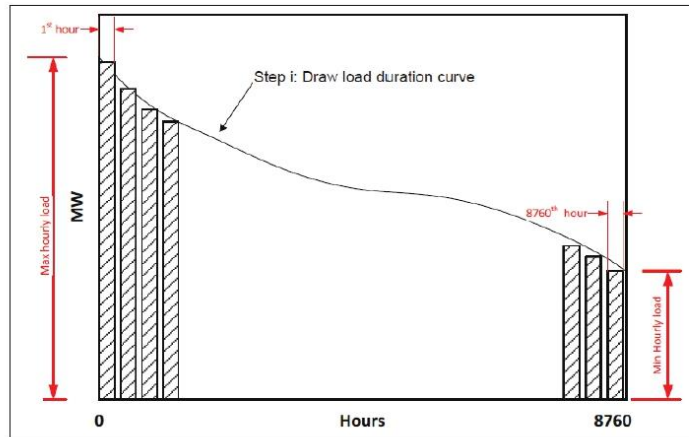
Tabla Nro. 5. Factor de Emisión de CO₂ por cada uno de los combustibles utilizados por el sector eléctrico

Combustible	FE (kg CO ₂ /TJ)
Fuel oil	75.500
Diésel	72.600
Gas Natural	54.300
Nafta	69.300
Residuo	73.300
Bunker	73.300

Fuente: IPCC, PETROECUADOR

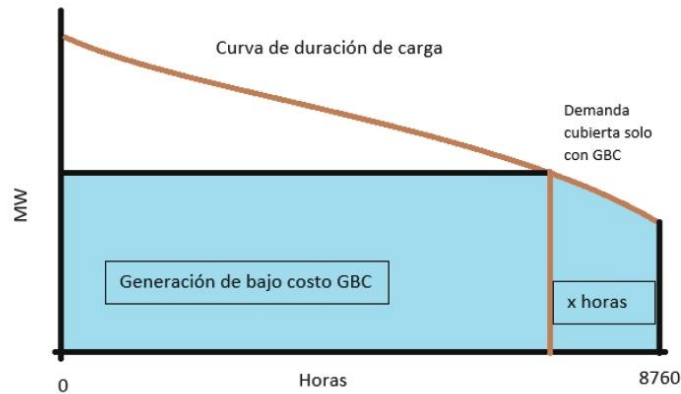
2.2.5. Resultados obtenidos para el Margen de Operación (OM)

Con base en las ecuaciones y los parámetros de cálculo mencionados en los párrafos anteriores, se realizó el cálculo del factor OM para el año 2021.



Gráfica Nro. 1 Curva de duración de carga. (UNFCCC, 2018)

3. Se establece el área que tendría la potencia de mínimo costo, se va obteniendo el área de la generación de bajo costo que cruce con la curva de carga, de tal forma de establecer las horas en las que la generación de bajo costo abasteció la demanda por sí sola, tal como se muestra la Gráfica Nro 2.



Gráfica Nro. 2 Cálculo de horas marginales de GBC. Fuente (UNFCCC, 2018)

Las fuentes de información empleadas para el cálculo del Factor de Emisión de CO₂ del SNI del Ecuador son las siguientes:

- $FC_{i,m,y}$ la cantidad de combustible fósil utilizado por las unidades de generación conectadas a la red eléctrica es proporcionada por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables - ARCERNNR, presentada en la hoja de cálculo "6. Combustibles" del archivo "Matriz Factor de Emisión_CO2_SNI_2021.xlsx".
- $EG_{m,y}$ la energía neta generada por cada unidad de generación conectada a la red eléctrica es proporcionada por CENACE, presentada en la hoja "3. FE_OM" del archivo "Matriz Factor de Emisión_CO2_SNI_2021.xlsx".



- m Todas las unidades de generación conectadas a la red en el año “ y ” a excepción de las unidades de bajo costo
- i Todos los combustibles utilizados por las unidades de generación “ m ” en el año “ y ”
- y Año correspondiente a los datos utilizados para el análisis

Opción A2: Si se dispone solo del dato de generación eléctrica y el tipo de combustible, el factor de emisión debe ser determinado con base en el factor de emisión de CO₂ del tipo de combustible utilizado y la eficiencia de la unidad de energía con la siguiente ecuación:

$$EF_{EL,m,y} = \frac{EF_{CO_2,m,i,y} \times 3,6}{\eta_{m,y}}$$

Donde:

- $EF_{EL,m,y}$ Factor de emisión de CO₂ de las unidades de generación en el año “ y ” ($t\ CO_2/MWh$)
- $EF_{CO_2,m,i,y}$ Factor de emisión de CO₂ promedio del combustible “ i ” utilizado por la planta “ m ” en el año “ y ” ($t\ CO_2/TJ$)
- $\eta_{m,y}$ Eficiencia de conversión promedia de la planta “ m ” en el año “ y ”
- m Todas las unidades de generación conectadas a la red en el año “ y ” a excepción de las unidades de bajo costo
- y Año correspondiente a los datos utilizados para el análisis

Cálculo de lambda λ_y : el cálculo de este parámetro se lo realiza utilizando la siguiente ecuación:

$$\lambda_y = \frac{\text{Number of hours low - cost/must - run are on the margin in year "y"}}{8760 \text{ hours per year}}$$

La determinación del número de horas en las que la generación de bajo costo cubre la demanda:

1. Se establece la curva de duración de carga, apilamos las potencias horarias presentados durante los 8,760 periodos horarios del año de mayor a menor, de tal forma de establecer la mínima potencia del año y la máxima potencia del año.
2. Se establece la suma de la generación de todas las unidades de bajo costo.

λ_y	Factor que expresa el porcentaje de tiempo que marginó la generación de bajo costo en el año “y”
$EG_{m,y}$	Energía neta entregada a la red por las unidades de generación “m” en el año “y” (MWh)
$EG_{k,y}$	Energía neta entregada a la red por las unidades de generación “k” en el año “y” (MWh)
$EF_{EL,m,y}$	Factor de emisión de las unidades de generación “m” (generación no renovable convencional y no convencional) en el año “y” (tCO ₂ /MWh)
$EF_{EL,k,y}$	Factor de emisión de las unidades de generación “k” (generación de bajo costo) en el año “y” (tCO ₂ /MWh)
m	Todas las unidades de generación conectadas a la red en el año “y” a excepción de la generación de bajo costo
k	Todas las unidades de generación de bajo costo conectadas a la red en el año “y”
y	Año correspondiente a los datos utilizados para el análisis

El cálculo del factor de emisión por el método **Simple Ajustado OM** se lo realiza considerando las siguientes opciones:

Opción A1: Para este caso se realiza el cálculo en base de la generación eléctrica neta de cada unidad de potencia y el factor de emisión para cada una de las unidades de generación, como muestra la siguiente ecuación:

$$EF_{EL,m,y} = \frac{\sum_i FC_{i,m,y} \times NCV_{i,y} \times EF_{CO_2,i,y}}{EG_{m,y}}$$

Donde:

$EF_{EL,m,y}$	Factor de emisión de CO ₂ de las unidades de generación “m” en el año “y” (t CO ₂ /MWh)
$FC_{i,m,y}$	Cantidad de combustible fósil “i” consumido en el año “y” de las unidades de generación “m” (unidad de masa o volumen)
$NCV_{i,y}$	Poder calorífico neto (contenido de energía) del combustible fósil tipo “i” en el año “y” (TJ/unidad de masa o volumen)
$EF_{CO_2,i,y}$	Factor de emisión de CO ₂ por tipo de combustible “i” en el año “y” (t CO ₂ /TJ)
$EG_{m,y}$	Energía neta generada en el año “y” a excepción de las unidades de bajo costo (MWh)



Para el caso del Ecuador y de acuerdo a la conformación del SNI y los datos del sistema eléctrico analizados, se aplicó el Método Simple Ajustado, realizando el balance de los últimos cinco años como muestra la Tabla Nro. 3, en la cual se puede observar que la generación de bajo costo (*low cost*), representa el 85.2% del promedio de los últimos cinco años. Esto es congruente con el método utilizado que indica que la generación de electricidad de bajo costo debe ser mayor al 50% del total.

Para este método de cálculo la herramienta propone establecer la estadística de datos tomando en cuenta los siguientes antecedentes:

- **Opción ex post:** Esta opción es tomada para el año en que el proyecto desplaza energía de la red eléctrica, y su monitoreo debe realizarse anualmente es por ello que este factor debería actualizarse de forma anual, tomando en cuenta que los datos para el cálculo anual se encuentran disponibles seis meses después de finalizado el año, alternativamente se puede tomar datos anteriores del año y-1, si no se tienen datos después de 18 meses de terminado el año.
- **Opción ex ante:** Este método permite realizar el cálculo del factor de emisión una vez en la etapa de validación del proyecto que desplaza generación eléctrica de la red, por lo que no es necesario su actualización periódica, se debe realizar el cálculo de los últimos 3 años más recientes.

Tabla Nro. 3. Generación eléctrica del SNI de los últimos 5 años en GWh

Año	2017	2018	2019	2020	2021	Promedio	%
Low cost/must run	20.333	21.024	24.877	24.820	26.305	23.472	89,7%
No Low cost/must run	3.354	3.715	2.605	2.104	1.729	2.702	10,3%
Total	23.687	24.739	27.482	26.924	28.035	26.173	100%

Fuente: (CENACE, 2022)

2.2.4. Paso 4. Cálculo del factor de emisión de CO₂ OM, conforme el método seleccionado.

El Margen de Operación (OM) bajo el método Simple Ajustado se lo calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$EF_{grid,OM-adj,y} = (1 - \lambda_y) \frac{\sum_m EG_{m,y} \times EF_{EL,m,y}}{\sum_m EG_{m,y}} + \lambda_y \frac{\sum_k EG_{k,y} \times EF_{EL,k,y}}{\sum_k EG_{k,y}}$$

Donde:

$EF_{grid,OM-adj,y}$ Factor de emisión de CO₂ del margen de operación simple ajustado para el año "y" (t CO₂/MWh)

La red eléctrica considerada en este cálculo está conformada por todos los elementos conectados al Sistema Nacional Interconectado del Ecuador continental.¹

2.2.2. Paso 2. Unidades de generación aisladas de la red eléctrica

Para el presente cálculo no se consideran las unidades de generación que no están conectadas al SNI, como son las unidades de la región Insular Galápagos, Isla Puna, sistemas aislados de la región Oriental, y los sistemas eléctricos de PETROECUADOR.

2.2.3. Paso 3. Selección del método de cálculo del Margen de Operación (OM)

Para el cálculo del factor de emisión de CO₂ de una red eléctrica debido a su operación denominado “margen de operación” se encuentra basado en uno de los siguientes métodos:

- a) **Simple OM.**- Puede ser utilizado solamente si la generación de energía eléctrica de las plantas de bajo costo de la red eléctrica representan menos del 50% del total de la generación.
- b) **Simple ajustado OM.**- Puede ser utilizado solamente si la generación de energía eléctrica de las plantas de bajo costo de la red eléctrica representan más del 50% del total de la generación.
- c) **Análisis de despacho OM.**- Está sujeto al nivel de información que se posee en el país, puesto que son los datos horarios de la producción de energía.
- d) **Ponderado OM.**- Es calculado mediante el uso del rendimiento promedio en el periodo de análisis de la generación de todas las plantas termoeléctricas que hacen parte de la red.

Tabla Nro. 2. Requerimientos de determinación de los Márgenes de Operación y Construcción

Requisitos de datos para la selección de las diferentes opciones

	DESPACHO OM	SIMPLE AJUSTADO OM	SIMPLE OM	PROMEDIO OM	MARGEN CONSTRUCCIÓN
Generación de energía por planta.		✓	✓		✓
Consumo de combustible por planta		✓	✓		✓
Tipo de combustible y tecnología.		✓	✓		✓
Generación de energía por hora y consumo de combustible por planta.	✓				
Carga horaria de la red.		✓			
Fecha de puesta en servicio de centrales / unidades.					✓

¹ El Sistema Nacional Interconectado está conformado por los Sistemas de Distribución, Transmisión, generación, auto-generadores, grandes consumidores e interconexiones internacionales con Perú y Colombia



- Las unidades que se han registrado como proyectos MDL en la Junta Ejecutiva (JE) MDL de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, no han sido consideradas dentro del cálculo, así como las unidades de generación de energías renovables no convencionales (fotovoltaicas, eólicas, biomasa, biogás).

2. Desarrollo del cálculo del factor de emisión de CO₂ del SNI

En esta sección se hace un desarrollo de la herramienta metodológica de las UNFCCC, tomando en cuenta las condiciones del sistema eléctrico ecuatoriano que permite estimar los factores de operación (OM), construcción (BM) y combinado (CM).

Parámetros que son utilizados para establecer la línea base de proyectos de eficiencia energética; así como también, para los proyectos de generación de electricidad con fuentes renovables, convencionales y no convencionales.

2.1. Parámetros del cálculo

Considerando los criterios de la Herramienta metodológica v7.0, de la UNFCCC para determinar el factor de emisión de CO₂ de una red eléctrica, se deben considerar los siguientes parámetros a ser calculados.

- **Margen de construcción (BM):** Permite establecer el factor de emisión de la nueva generación que se ha incorporado a la red eléctrica en los últimos 10 años y que corresponde al 20% de la generación del último año que se tiene datos.
- **Margen de Operación (OM):** Establece el factor de emisión que se presentó durante el año, con este factor se calculan las emisiones de CO₂ que se presentaron en los diferentes años de estudio.
- **Margen Combinado (CM):** Este factor se utiliza para crear una línea base para un proyecto renovable, su cálculo se lo realiza en base a los dos anteriores dándoles un porcentaje tanto al **BM** como al **OM**, la suma del porcentaje asignado no puede ser mayor que el 100%.

Tabla Nro. 1 Parámetros de cálculo del factor de emisión de CO₂

PARÁMETROS	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
$EF_{grid,BM}$	tCO_2/MWh	Factor de emisión de CO ₂ para el Margen de construcción en el año "y"
$EF_{grid,OM}$	tCO_2/MWh	Factor de emisión de CO ₂ para el Margen de operación en el año "y"
$EF_{grid,CM}$	tCO_2/MWh	Factor de emisión de CO ₂ para el Margen combinado en el año "y"

Fuente: (UNFCCC, 2018)

2.2. Procedimiento de Línea Base

2.2.1. Paso 1. Identificación del sistema eléctrico relevante

- **Mínima potencia anual:** Es la mínima potencia horaria registrada en el año calendario
- **Máxima potencia anual:** Es la máxima potencia horaria registrada en el año calendario.
- **Lambda:** Está determinado por número de horas en el año en que la generación de bajo costo abasteció la demanda de potencia por si sola.

1.2. Descripción de la metodología

En esta sección se presenta un esquema de los pasos a seguir para el cálculo del factor de emisión.



1.3. Aspectos considerados para la realización del cálculo

Algunas consideraciones fueron tomadas en cuenta para la realización de este informe, destacándose las siguientes:

- Los sistemas eléctricos aislados de la red eléctrica no se consideran dentro del cálculo. Entre estos sistemas se encuentran:
 - Isla Puna
 - Región Insular - Galápagos
 - Sistema Oriental (Sistemas menores ubicados en la región nororiental del Ecuador manejados por la unidad de negocio TERMOPICHINCHA de la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP)
 - El sistema de Generación del Sistema Eléctrico Interconectado Petrolero – SEIP,
- Para el caso de la interconexión eléctrica con Colombia, sobre la base que en 2008 se realizó una repotenciación del sistema de transmisión de 230 kV, se consideró la energía registrada en los medidores en barras de Ecuador por los circuitos adicionales con un factor de emisión de CO₂ igual a cero, como indica la “Herramienta para el cálculo del factor de emisión para un sistema eléctrico v7.0”. (UNFCCC, 2018)



1. Antecedentes

El Operador Nacional de Electricidad CENACE como ente técnico responsable de la actualización anual del cálculo del Factor de Emisión de Dióxido de Carbono (CO₂) del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador Continental desde el año 2010, ha recopilado la información del último año de operación del sistema eléctrico ecuatoriano con la finalidad de realizar la actualización del Factor de Emisión de CO₂.

Se ha establecido como guía la herramienta metodológica de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés) denominada “Herramienta para el cálculo del factor de emisión de CO₂ para un sistema eléctrico”, versión v7.0. (UNFCCC, 2018). Dicha herramienta se encuentra vigente y ratificada por la UNFCCC conforme se indica en la treceava edición de la publicación Compendio Metodológico del Mecanismo de Desarrollo Limpio (UNFCCC, 2021)

1.1. Definiciones generales

- **MWh:** Unidad de medida energética, equivalente a un millón de vatios hora. Es la energía necesaria para suministrar una potencia de un millón de vatios constante durante una hora.
- **Factor de emisión de CO₂:** Es la masa estimada de toneladas de CO₂ emitidas a la atmósfera, por cada unidad de MWh de energía eléctrica generada en base a la combustión de combustible fósil. (UNFCCC, 2018)
- **GEl:** Gases de Efecto Invernadero. Los gases de efecto invernadero son aquellos constituyentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y emiten radiación en longitudes de onda específicas dentro del espectro de radiación infrarroja térmica emitida por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. (IPCC, 2013)
- **Planta/unidad de generación:** La unidad de generación es el equipamiento que genera energía eléctrica, una planta de generación está compuesta por varias unidades de generación. (UNFCCC, 2018)
- **Red Eléctrica:** Se establece como el conjunto de elementos y sistemas que se encuentran entre las unidades de generación y los consumidores finales (UNFCCC, 2018).
- **Sistema Nacional de Transmisión:** Es el sistema de transmisión de energía eléctrica o medio de conexión entre consumidores y centros de generación (unidades de generación), el cual permite el paso de la energía a todo el territorio nacional.
- **Sistema Nacional Interconectado (SNI):** En el Ecuador es el sistema integrado por los elementos del sistema eléctrico, conectado entre sí, que permite la producción y transferencia de energía eléctrica entre centros de generación y consumo.
- **Generación Neta:** Es la diferencia entre la generación total y el consumo de los servicios auxiliares de la unidad de generación. Es aquella energía que se entrega a la red eléctrica para el consumo del usuario y el consumo propio del sistema de transmisión. (UNFCCC, 2018)
- **Margen de Construcción (BM):** El factor de emisión de CO₂ del margen de construcción representa las emisiones asociadas al ingreso de nuevas unidades de generación para el periodo en el que se ha calculado, cuya construcción y operación sería desplazada por la actividad del proyecto renovable. (UNFCCC, 2018)
- **Margen de Operación (OM):** El factor de emisión de CO₂ del margen de operación se estima con la operación de las centrales actualmente conectadas a la red, que sería afectada por la actividad del proyecto renovable. (UNFCCC, 2018)
- **Margen Combinado (CM):** El factor de emisiones de CO₂ del margen combinado corresponde a la ponderación asignada en el cálculo de los dos márgenes anteriores. (UNFCCC, 2018).
- **Generación de bajo costo (Low cost/must run):** Es la energía compuesta por las unidades hidráulicas, y renovables no convencionales (bagazo, biomasa, biogás, eólica, solar).

Contenido

1.	Antecedentes	4
1.1.	Definiciones generales	4
1.2.	Descripción de la metodología	5
1.3.	Aspectos considerados para la realización del cálculo	5
2.	Desarrollo del cálculo del factor de emisión de CO₂ del SNI	6
2.1.	Parámetros del cálculo	6
2.2.	Procedimiento de Línea Base	6
2.2.1.	Paso 1. Identificación del sistema eléctrico relevante	6
2.2.2.	Paso 2. Unidades de generación aisladas de la red eléctrica	7
2.2.3.	Paso 3. Selección del método de cálculo del Margen de Operación (OM)	7
2.2.4.	Paso 4. Cálculo del factor de emisión de CO ₂ OM, conforme el método seleccionado	8
2.2.5.	Resultados obtenidos para el Margen de Operación (OM)	12
2.2.6.	Paso 5. Cálculo del Margen de Construcción (BM)	13
2.2.7.	Paso 6. Cálculo del Margen Combinado (CM)	15
3.	Evolución del factor emisión de CO₂	17
4.	Resultados	19
	Referencias	20



El factor de emisión de CO₂ se constituye una herramienta fundamental para la planificación energética nacional, que nos permite cuantificar la reducción de emisiones al promover la energía renovable o la eficiencia energética. Es por ello, que trabajamos en mejorar los datos estadísticos bajo principios de transparencia y consistencia, que se establecen como piezas clave para el desarrollo de este sector, considerado estratégico para el país.

Enith Carrión Quezada

Viceministra de Electricidad y Energía Renovable



El Gobierno del Encuentro a través del Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica apoya la transformación de la matriz energética del país hacia un desarrollo sostenible bajo en emisiones y resiliente al clima, proceso que requiere contar con información que fortalezca la transparencia y oriente la toma de decisiones.

Por esta razón, los resultados del cálculo del factor de emisión del Sistema Nacional Interconectado contribuyen con la planificación energética del país así como la cuantificación de los aportes en la mitigación del cambio climático.

Gustavo Manrique Miranda
Ministro del Ambiente, Agua y Transición Ecológica



El Gobierno del Encuentro, a través del Ministerio de Energía y Minas, ratifica su firme compromiso de continuar impulsando el desarrollo de generación eléctrica, por medio de energías renovables. Además, bajo el liderazgo del presidente Guillermo Lasso, trabajamos de forma permanente en la implementación de políticas encaminadas en asegurar una mayor equidad, accesibilidad y resiliencia en el sector energético ecuatoriano.

Fernando Santos Alvite
Ministro de Energía y Minas



FACTOR DE EMISIÓN DE CO₂ DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DE ECUADOR - INFORME 2021

Área responsable de la elaboración:

Operador Nacional de Electricidad CENACE
Gerencia Nacional de Planeamiento Operativo

Elaboración:

- Ing. Lenin Haro Estrella - Operador Nacional de Electricidad CENACE

Revisión:

- Ing. Alex Posso e Ing. Ángel Echeverría - Ministerio de Energía y Minas
- Ing. Paul Melo e Ing. Andrea Bedón - Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica
- Ing. Andrea Torres - Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables

La Comisión Técnica de determinación de Factores de Emisión de gases de efecto invernadero - CTFE, el 19 de agosto de 2022 emitió el informe de conformidad al factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado de Ecuador para la estadística 2021 y recomendó su aprobación y publicación. Este material puede ser utilizado siempre que se cite la fuente.



**Comisión Técnica de determinación
de Factores de Emisión de gases de
efecto invernadero**

Anexo 7. Ministerio de energía y recursos naturales no renovables. Plan maestro de electricidad



1.1 Transformación y situación actual del Sector Eléctrico

Durante los últimos años se han ejecutado importantes obras en el sector eléctrico ecuatoriano, encaminadas a garantizar el abastecimiento eléctrico, a través del desarrollo de recursos energéticos locales y priorizando la participación de las energías renovables, especialmente la hidroeléctrica, con el fin de coadyuvar a la diversificación de la matriz energética y disminuir sustancialmente el consumo de combustibles fósiles.

Es así que el sector eléctrico ha logrado aumentar significativamente su capacidad instalada; al 2018 se contó con 8.826,89 MW de potencia instalada provenientes el 59,84 % de fuentes Renovables, y el 40,16 % correspondiente a fuentes No Renovables, y para transportar técnica y eficientemente esta energía, se operaron 3.546,2 km de líneas de transmisión a simple circuito y 2.119,42 km a doble circuito; complementariamente, se operaron un total de 5.252,57 km de líneas de subtransmisión. Además se ha conseguido reducir las pérdidas de energía eléctrica de manera sostenida hasta alcanzar el 11,40%.

Durante los últimos 10 años (periodo 2008 - 2018) se ha logrado invertir más de doce mil millones de dólares en el sector eléctrico ecuatoriano, con lo cual se ha logrado la reducción de pérdidas de

energía, la mejora en la calidad del servicio y la modernización de los sistemas técnicos y comerciales, generando las condiciones para que florezca la innovación, creando productividad en Ecuador, pasando de ser importadores a exportadores de electricidad.

No solo se trata de producir energía, sino de consumirla de manera inteligente. La eficiencia en el uso ha sido otro de los pilares importantes mediante la aplicación de políticas tarifarias y la ejecución de diferentes programas de eficiencia energética: iluminación eficiente en los hogares y las vías públicas; la sustitución de refrigeradoras antiguas y de alto consumo; la aplicación de normas técnicas y de reglamentos de etiquetado de artefactos de uso en el hogar; la implementación de sistemas de gestión de energía en las principales industrias; y, la sustitución de GLP por electricidad, ha permitido conseguir una importante disminución en la demanda eléctrica a nivel nacional, y con ello ahorros económicos por costos evitados en la instalación de nueva infraestructura de generación necesaria para cubrir esa demanda.

A continuación se presenta la demanda mensual de energía del S.N.L. ecuatoriano, información que ha sido recopilada de las diferentes empresas del sector eléctrico.

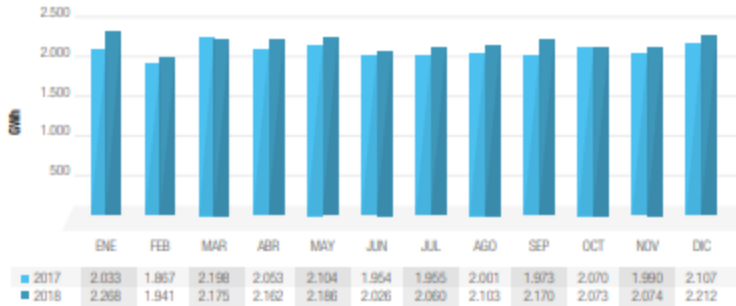


Figura No. 1-1: Demanda mensual de energía del S.N.L.

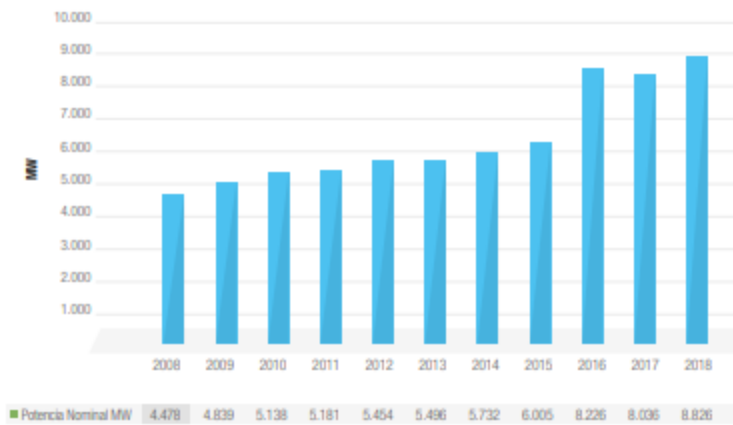
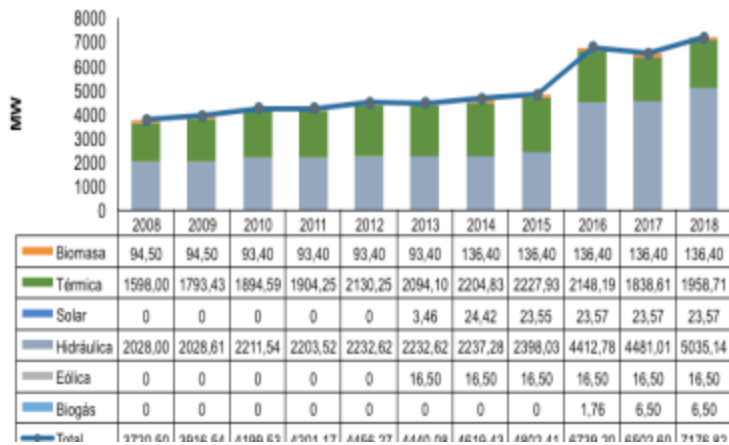


Figura Nro. 1-2: Crecimiento de la potencia instalada

Así mismo, la potencia efectiva en el S.N.I. representó el 87,53%, 7.176,82 MW, y los sistemas no incorporados representaron el 12,47%, 1.005,75 MW, mientras que la capacidad de las centrales de generación mediante fuentes renovables en el país representaron el 64%, 5.231,72 MW y las no renovables el 36%, 2.950,85 MW.



Considera el crecimiento tendencial de la demanda, más las cargas de: proyectos de eficiencia energética, transporte, institutos públicos y privados, centros de transferencia tecnológica, empresas de alta tecnología y de desarrollo agroindustrial.

Además, se incluyen los nuevos requerimientos de las cargas singulares y de la conexión del Sistema Nacional Interconectado

con el Sistema Eléctrico Interconectado Petrolero (SEIP), que serán conectadas a los sistemas de las empresas distribuidoras y al Sistema Nacional de Transmisión (S.N.T).

Para el periodo de análisis, en la Tabla Nro. 1-4 y Figura Nro. 1-4, se observa la evolución de la demanda anual de potencia, con un crecimiento medio del 6,66% en bormes de generación.

PREVISIÓN DE LA DEMANDA ANUAL DE POTENCIA ELÉCTRICA EN BORNES DE GENERACIÓN DEL SNI - HIPÓTESIS No.2							
AÑO	DEMANDA DE POTENCIA (MW)			Histórico	TASAS DE CRECIMIENTO (%)		
	CRECIMIENTO				CRECIMIENTO		
	Menor	Medio	Mayor		Menor	Medio	Mayor
2018	3.933	3.933	3.933	3,99%			
2019	4.185	4.295	4.385		6,4%	9,2%	11,5%
2020	4.785	4.958	5.108		14,3%	15,4%	16,5%
2021	5.103	5.346	5.562		6,7%	7,8%	8,9%
2022	5.338	5.661	5.954		4,6%	5,9%	7,0%
2023	5.514	5.924	6.304		3,3%	4,7%	5,9%
2024	5.661	6.186	6.665		3,0%	4,4%	5,7%
2025	5.860	6.468	7.058		3,1%	4,6%	5,9%
2026	6.024	6.739	7.453		2,8%	4,2%	5,6%
2027	6.199	7.028	7.883		2,9%	4,3%	5,8%
Orc.2018-2027	5,18%	6,66%	8,03%				

Tabla Nro. 1-4: Proyección de la demanda de potencia - Caso Base.

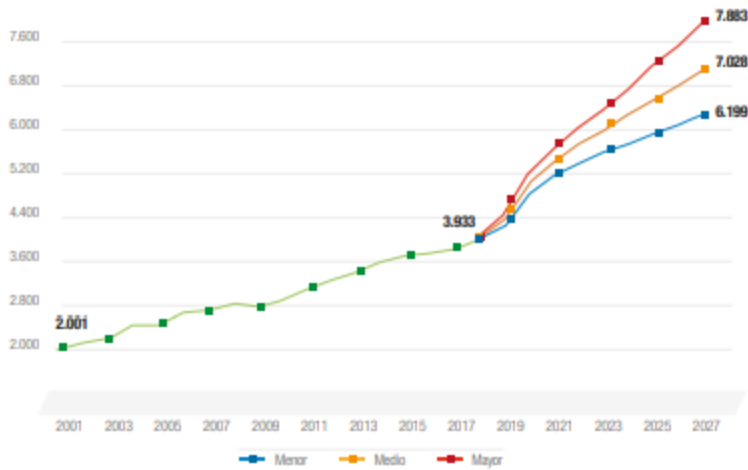


Figura No. 1 - 4: Proyección de la Demanda anual de Potencia (MW) en bornes de generación del SNI -Caso Base.

Demanda eléctrica en el caso matriz productiva

Se considera el Caso Base y los proyectos que forman el Plan Integral para el desarrollo de Industrias Básicas en el país, lo cual constituye un pilar importante en las estrategias para el cambio de la matriz productiva.

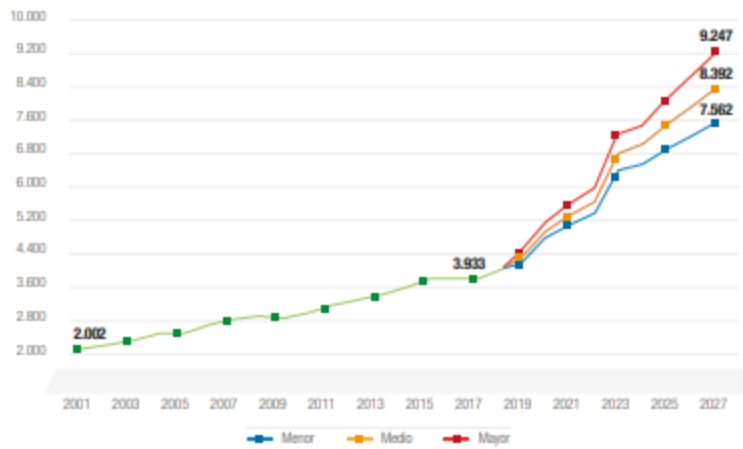
En este contexto, se prevé la implementación de las Industrias Básicas (aluminio, cobre, astilleros y petroquímica) que generarán crecimiento

económico en el país y un significativo incremento en la demanda de energía eléctrica.

Para este caso, la proyección de la demanda tanto en potencia, como en energía se observa en las Tablas Nro. 1-6 y Nro. 1-7, y Figuras Nro. 1-6 y Nro. 1-7, respectivamente.

PREVISIÓN DE LA DEMANDA ANUAL DE POTENCIA ELÉCTRICA EN BORNES DE GENERACIÓN DEL SMI - HIPÓTESIS No. 3							
AÑO	DEMANDA DE POTENCIA (MW)			Histórico	TASAS DE CRECIMIENTO (%)		
	CRECIMIENTO				CRECIMIENTO		
	Menor	Medio	Mayor		Menor	Medio	Mayor
2018	3.933	3.933	3.933	3,88%			
2019	4.185	4.295	4.385		6,4	9,2	11,5
2020	4.785	4.958	5.108		14,3	15,4	16,5
2021	5.103	5.348	5.582		6,7	7,8	8,9
2022	5.338	5.661	5.954		4,6	5,9	7,0
2023	6.399	6.809	7.189		19,9	20,3	20,7
2024	6.543	7.047	7.526		2,2	3,5	4,7
2025	6.925	7.533	8.123		5,8	6,9	7,9
2026	7.228	7.943	8.657		4,4	5,4	6,6
2027	7.562	8.392	9.247		4,6	5,7	6,8
Crec. 2018-2027	7,53%	8,78%	9,96%				

Tabla Nro. 1-4: Proyección de la Demanda anual de Potencia - Caso Matriz Productiva.



PREVISIÓN DE LA DEMANDA ANUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN BORNES DE GENERACIÓN DEL SNI - HIPÓTESIS No. 3							
AÑO	DEMANDA DE ENERGÍA (GWh)			Histórico	TASAS DE CRECIMIENTO (%)		
	CRECIMIENTO				CRECIMIENTO		
	Menor	Medio	Mayor		Menor	Medio	Mayor
2018	24.062	24.062	24.062	4,81%			
2019	25.936	26.675	27.308		7,8%	10,9%	13,5%
2020	28.878	30.040	31.078		11,3%	12,6%	13,8%
2021	31.394	33.023	34.523		8,7%	9,9%	11,1%
2022	33.090	35.255	37.291		5,4%	6,8%	8,0%
2023	38.055	40.807	43.452		15,0%	15,7%	16,5%
2024	43.227	46.622	49.957		13,6%	14,2%	15,0%
2025	45.387	49.485	53.600		5,0%	6,1%	7,3%
2026	47.822	52.652	57.643		5,4%	6,4%	7,5%
2027	50.324	55.951	61.932		5,2%	6,3%	7,4%
Dec. 2018-2027	8,54%	9,83%	11,08%				

Tabla No. 1-7: Proyección de la demanda anual de energía eléctrica - Caso Matriz Productiva.

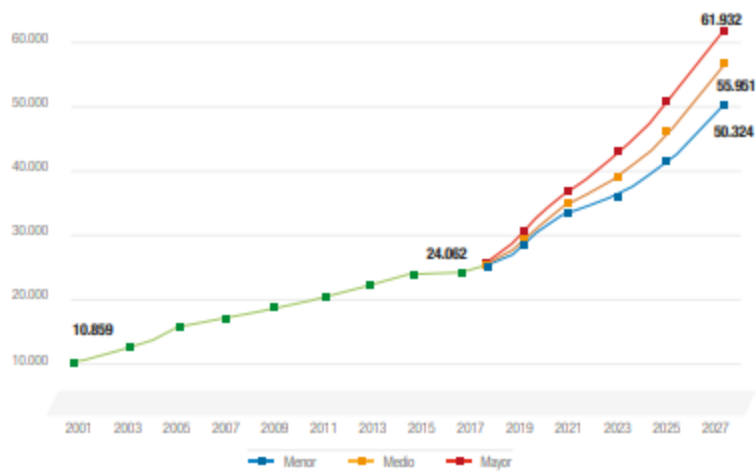


Figura No. 1-7: Proyección de la Demanda anual de Energía Eléctrica (GWh) en bornes de generación del SNI - Caso Matriz Productiva.

1.3.1 Línea Base

En la Tabla Nro.1-8 se observa la potencia nominal y efectiva del parque generador del Ecuador, desagregada por tipo de sistema y por tipo de tecnología.

Sistema	Tipo Central	Potencia Nominal		Potencia Efectiva	
		(MW)	%	(MW)	%
No Incorporado	Eólica	4,65	0,05%	4,65	0,06%
	Hidráulica	6,06	0,07%	5,79	0,07%
	Solar	3,17	0,04%	3,17	0,04%
	Térmica	1302,49	15,01%	992,14	12,31%
Total No Incorporado		1316	15,17%	1006	12,47%
S.N.I.	Biogás	7,26	0,08%	6,50	0,08%
	Biomasa	144,30	1,69%	136,40	1,69%
	Eólica	16,50	0,19%	16,50	0,20%
	Hidráulica	5005,34	58,38%	5005,14	62,45%
	Solar	24,46	0,29%	23,57	0,29%
	Térmica	2252,65	24,23%	1958,71	22,81%
Total S.N.I.		7511	84,83%	7177	87,53%
Total general		8827	100,00%	8163	100,00%

Tabla Nro. 1 8: Potencia Nominal y Efectiva del Ecuador.

Adicionalmente, se dispone de dos interconexiones: Colombia con 525 MW y Perú con 110 MW. La producción nacional de energía por tipo de sistema durante el año 2018 se presenta en la Tabla Nro. 1-9.

Producción Total de Energía e Importaciones		GWh	%
Energía Renovable	Hidráulica	20.678,00	70,45%
	Eólica	80,26	0,27%
	Fotovoltaica	38,08	0,13%
	Biomasa	382,44	1,30%
	Biogás	45,52	0,16%
Total Energía Renovable		21.224,30	72,32%
No Renovable	Térmica MCI	4.942,06	16,84%
	Térmica Turbogás	1.339,29	4,56%
	Térmica Turbovapor	1.737,93	5,92%
Total Energía No Renovable		8.019,28	27,32%
Total Producción Nacional		29.243,58	99,64%
Interconexión	Colombia	106,08	0,36%
	Perú	-	0,00%
	Importación	106,08	0,36%
Total Producción Nacional + Importación		29.349,66	100,00%

Producción Total de Energía e Importaciones S.N.L.		GWh	%
Energía Renovable	Hidráulica	20.661,59	81,08%
	Eólica	73,7	0,29%
	Fotovoltaica	34,77	0,14%
	Biomasa	382,44	1,50%
	Biogás	45,52	0,18%
Total Energía Renovable S.N.L.		21.198,02	83,19%
No Renovable	Térmica	4.177,89	16,40%
Total Energía No Renovable S.N.L.		106,08	0,42%
Total Producción Nacional S.N.L.		0	0,00%
Interconexión	Colombia	106,08	0,42%
	Perú	25.481,99	100,00%
	Importación	106,08	0,36%
Total Producción Nacional + Importación		29.349,66	100,00%

Tabla Nro. 1-9: Balance Nacional de energía eléctrica a diciembre del 2018.

1.3.2 Centrales recientemente incorporadas

Entre los años 2017 y 2018 se incorporaron las centrales de generación indicadas en la Tabla Nro. 1-10.

Central	Empresa / Institución	Pública o privada	Tipo	Potencial Nominal (MW)	Potencia Efectiva (MW)	Año de ingreso
Miras - San Francisco	CELEC EP - Enerjibones	Pública	Hidroeléctrico	275,00	274,50	2018
Deltabastegua	CELEC EP - Gensur	Pública	Hidroeléctrico	180,00	180,00	2018
6 centrales térmicas (en diferentes sitios)	Petroamazonas	Pública	Térmica	46,66	26,02	2017 y 2018
Due	Hidroalbo	Privada	Hidroeléctrico	49,71	49,71	2017
Normandia	Hidronormandia S.A	Privada	Hidroeléctrico	49,58	49,58	2018
Pasuno	ElEnergy	Privada	Hidroeléctrico	38,25	38,25	2018
Topo	Ecuaenergia	Privada	Hidroeléctrico	29,20	27,00	2017
Sigchos	Hidrosigchos	Privada	Hidroeléctrico	18,60	18,39	2017
Palmira Naregal	lnaregal	Mista	Hidroeléctrico	10,44	10,36	2018
Mazar Dudas Atazán	CELEC EP - Hidroatuzques	Pública	Hidroeléctrico	6,23	6,23	2017
Isabela	E.E. Galápagos	Pública	Térmica (diesel)	1,63	1,63	2018
Pichacay	EMAC - GBP	Mista	Biogás	1,06	1,00	2017
Isabela Solar	E.E. Galápagos	Pública	Fotovoltaica	0,95	0,95	2018
Panuelos Pastaza	E.E. Ambato	Pública	Fotovoltaica	0,20	0,20	2018
Estación Mira	Orion	Privada	MC	0,18	0,17	2018
Total				708	686	

Tabla Nro. 1-10: Centrales de generación eléctrica incorporadas entre 2017 y 2018.

Anexo 8. Mackesey Company. Why most etrucks will choose overnight charging

McKinsey Center for Future Mobility

Why most eTrucks will choose overnight charging

Electric trucks are coming, but fleets need to find the best charging strategies to keep them going.

by Enrico Furnari, Lionel Johnnes, Alexander Pfeiffer, and Shivika Sahdev



© 3alex/Getty Images

October 2020

everything—solution design, procurement, installation of hardware, operations, and maintenance. There are also new economic models that support these types of solutions, such as a dollar-per-mile or dollar-per-kWh fully loaded cost. Such innovations help eliminate high upfront costs and provide higher levels of predictability over the long term.

As automotive players prepare to launch a range of new eTrucks in markets around the world, the industry must simultaneously solve its charging problems. To encourage strong momentum for eTrucks, the extended ecosystem of OEMs, suppliers, fleets, service providers, and municipalities must collaborate with regulators to ensure charging infrastructure development keeps up with eTruck demand. Without this building block in place, even the most important use cases may see little uptake.

Enrico Furnari is a consultant in McKinsey's Warsaw office; **Lionel Johnnes** and **Alexander Pfeiffer** are consultants in the Amsterdam office; and **Shivika Sahdev** is a partner in the New York office.

The authors wish to thank Shashank Kalukar, Florian Kulzer, Florian Nagele, and Felix Richter for their contributions to this article.

Designed by McKinsey Global Publishing
Copyright © 2020 McKinsey & Company. All rights reserved.

Public charging will always be more expensive than depot charging because charge-point operators will seek premium fees on their electricity or service to recoup their infrastructure costs and make a profit. If battery prices for eTrucks remain close to today's average of \$250 to \$300 per kilowatt hour, it makes sense to reduce battery capacity using midroute charging, even when electricity prices are very high (over the current average of \$0.5 per kilowatt hour for ultra-fast charging). If battery prices decline as expected, public charge-point operators must reduce their fees at fast-charging points below \$0.4 per kilowatt hour to remain competitive. Otherwise, fleet operators will find it more cost-effective to opt for bigger batteries and overnight-only charging solutions.

3. Charging technology depends on vehicle size and use.

LCVs and MDTs used in single-shift, overnight-only situations can charge with slower Level 2 chargers, even if they have larger batteries. The rating for the standard Level 2 charger is 22 kilowatts. At that power rating, the charger can supply approximately 220 kWh¹ of electricity over ten hours.

In the near term, routes for LCVs and MDTs will probably not exceed 200 kilometers, which means they will use less than 220 kWh of energy per day. However, eTrucks driving more than

200 to 300 kilometers per day will require more than 220 kWh and will need faster chargers at the hub. Heavy-duty, long-haul vehicles will always require faster DCFC charging given their routes of more than 400 kilometers and their much larger battery packs (over 300 kWh). If these vehicles used a Level 2 charger, the charging process would take over ten hours, making it even inappropriate for overnight solutions.

4. The business model matters just as much as the technology.

While an operator's selected charging strategy is important, the chosen business model could have even greater implications and be a greater source of innovation. When preparing to launch eTrucks, fleet operators will be more responsive to a seamless model that integrates the design, deployment, and operation of the charging infrastructure with the purchase of the vehicle.

For fleet operators to deploy the charging infrastructure independently, they would have to understand requirements for all elements, including hardware, installation, and software. They would then need to scan the market, evaluate multiple vendors, and engage one. That may change, however, since integrated solutions are starting to emerge in which OEMs or independent providers offer a "charging as a service" model that provides a one-stop-shop option in which a single provider covers

While an operator's selected charging strategy is important, the chosen business model could have even greater implications and be a greater source of innovation.

¹ The actual power delivered varies based on the interaction between the charger and the vehicle; in most cases, the charger does not deliver electricity at the nameplate capacity for the entire charging session.

1. Overnight-only charging is the cheapest choice.

For every type of eTruck and route, overnight-only charging is by far the cheapest possible option, largely because energy costs overnight at a hub are lower than those associated with strategies that involve midroute charging. Additionally, operators benefit from using slower, less expensive chargers at hubs. For use cases where eTrucks run more than a single shift or need faster charging at the hubs, the cost differential will be lower. Overnight-only charging is expected to be the dominant solution,

at least in the near term, since the technology is already available and most battery packs are expected to be large enough to meet daily route needs on a single charge.

2. The real benefit of midroute charging involves the trade-off between charging and battery costs.

Midroute charging serves two purposes. First, it allows eTrucks to drive longer routes than they could serve on a single charge. Second, it could allow eTrucks to use a smaller battery while maintaining the desired range.

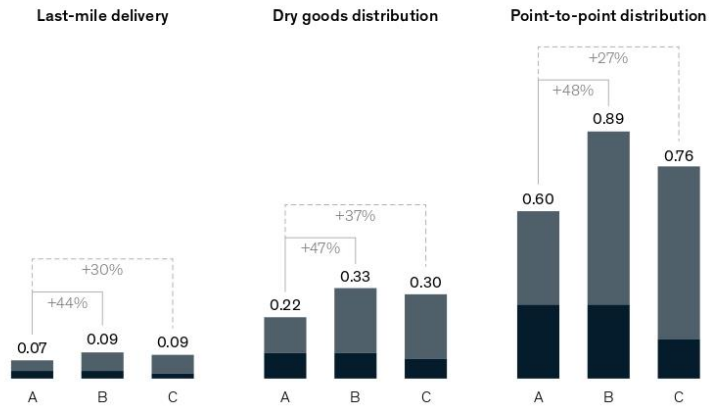
Exhibit 3

The selected charging strategy can affect total cost of ownership.

Total cost of ownership, by charging solution,¹
euro per kilometer in 2020

■ Operating expenditure/electricity (including infrastructure)
■ Capital expenditure/battery

A Overnight only B Overnight and mid-route², no reduction in battery size C Overnight and mid-route², smaller battery



Charger power, kilowatts

Overnight	22	22	22
Mid-route	NA	22	50

22	22	22
NA	150	50

22	22	22
NA	450	350

Battery capacity, kilowatt hours

30	30	20
----	----	----

200	200	165
-----	-----	-----

950	950	500
-----	-----	-----

Note: Figures may not sum, because of rounding.
¹Estimates based on European market for 2025.
²Public-owned mid-route charging station. Assumes one stop of 30 minutes for last-mile delivery, two stops of 30 minutes each for dry goods distribution, and one stop of 60 minutes for point-to-point distribution.

Midroute-only charging

If fleet operators select a midroute-only-charging method, they will rely exclusively on public or private charging midroute. This model reduces the required infrastructure investment, but it is only feasible in locations where public charging stations exist along the desired route or if electricity costs are low enough to justify a switch to exclusive midroute charging. As any charging strategy, this option has several drawbacks. For instance, a fleet's overall idle time could increase if chargers are unavailable.

Midroute-only charging is most suitable for fleet operators with little or no depot parking space, such as car-on-demand operators with free-floating fleets, as well as limited daily mileage or long breaks between cycles. Even when such enablers are in place, we expect that fleet operators will need to enter targeted arrangements with charge-point operators to ensure charging access and avoid interference with fleet performance.

Battery swapping

In this strategy, eTruck operators can remove discharged batteries and replace them with fully charged ones, either at the hub or depot location or midroute at dedicated swapping stations. The main advantage with this charging strategy is time. Swapping stations will have a stock of already-charged batteries that can be installed in much less time than it would take for a wired charger to charge an onboard battery.

While faster, the costs associated with this model could be considerable. Operators will need to set up a charging and storage hub for the battery packs, stock more than one battery per truck, and potentially hire labor to conduct the swapping. If a fleet operator has two different truck types with different battery-pack configurations, costs could escalate even further. That said, there are some use cases where battery swapping makes sense, such as those involving travel through remote areas that lack public-charging infrastructure. Battery swapping may also be the best solution when turnaround times for charging are critical or when a fleet operator only uses one truck brand. No

operators have yet deployed battery swapping on a commercial scale.

Overhead catenary charging

In this solution, the eTruck itself has a small battery or lacks one. It drives on a fixed route while drawing power from an overhead catenary—a line or wire that directly provides electricity to vehicles. This strategy allows the fleet operator to avoid high expenses related to eTruck batteries. Savings can be considerable, since battery expenditures usually represent about 40 to 60 percent of the overall capital expenditures for these vehicles.

A major disadvantage of catenary charging is the extensive capital expenditures required to build the overhead power grid, as well as the need for permanent fixed routes. Since only a few routes are now equipped with this technology, this solution is not commercially feasible in most instances. Beyond areas where the infrastructure already exists, catenary charging might make sense for very short fixed transfers with heavy payloads, such as in mining applications.

Considerations when choosing a charging strategy

To test the viability of each strategy, we focused on the use cases that are most feasible over the short term: last-mile delivery, dry goods distribution, and point-to-point long-haul distribution. For each case, we then performed a TCO analysis for three different charging options: overnight only, overnight plus midroute with the same battery size, and overnight plus midroute with a smaller battery size. In addition to considering the capital expenditure for the battery pack and charging infrastructure, we looked at all operating expenditures for retail electricity and the charging infrastructure—both operations and maintenance (Exhibit 3). We also factored in costs that would be the same across different charging solutions, such as those for vehicle chassis, electronics capital expenditures, and vehicle-maintenance operating expenditures. Our findings highlighted four important points:

Of the five strategies, we believe that overnight-only charging and overnight and midroute charging are most feasible. These options have predictable and manageable up-front capital expenditures and operating costs, use established technologies, and offer flexibility. The other choices will remain niche applications or are commercially impractical.

Overnight-only charging

Following this strategy, operators charge their fleets overnight at the hub or depot where they park. This approach assumes that eTrucks run for only one shift a day, are idle throughout the night, and usually have a battery that is large enough to support the daily required range when fully charged. Overnight-only charging is possible with today's technology and infrastructure and could be the most cost-effective charging solution.

Fleets can use less expensive, slower Level 2 chargers at the hub or depot, given the long rest cycles, which limits their up-front capital expenditures; additionally, with overnight charging trucks would charge at night when electricity is cheaper. Alternatively, the fleet operator could use a third-party charging infrastructure provider and lease the charging equipment—a strategy that would avoid capital-expenditure outlays but likely involve slightly higher overall prices.

Overnight and midroute charging

With this option, operators charge eTrucks overnight at the depot and over the day at fast chargers. Midroute chargers can be located at private rest stops, destination warehouses, public retail locations, public charging stations, or truck rest stops. An overnight-and-midroute-charging strategy makes sense when the battery pack is not large enough to support the entire daily required range, even when fully charged.

This charging solution reduces the required capex investments at the depot for both fleet operators and charge-point operators, compared with overnight only, because operators can have smaller battery packs in their vehicles and therefore need fewer depot chargers.

The main considerations for this strategy involve the additional cost for midroute infrastructure build-out or use and the need to guarantee availability. If operators decide to build dedicated midroute stops, capital expenditure will increase. Similarly, operators that use public charging stations midroute will pay more per kilowatt-hour consumed than they do at hubs. For fleets that opt to use public networks, charging stations must be available and operational when needed or else on-time performance might suffer.

Overnight-only charging and overnight and midroute charging are most feasible. Other choices will remain niche applications or are commercially impractical.

Potential charging strategies

While eTrucks have yet to be adopted at scale, we have identified five potential charging options that vary by location, cost, feasibility, and flexibility (Exhibit 2). For instance, some strategies call for eTrucks to be charged at hubs where vehicles park while others involve warehouses where they load and unload, public charging stations, or rest stops that feature en route chargers. The initial costs for each charging solution will include charger hardware, installation, any storage or distributed generation equipment, one-time site construction and grid connection costs, or one-time software-development fees. Ongoing operating costs will include maintenance, electricity, demand charges, and labor.

For strategies that use wired charging, two technologies are available:

- alternating-current (AC) charging, also called Level 2 charging, which is relatively slow and has power under 22 kilowatts
- direct-current fast charging (DCFC), which has power over 50 kilowatts

Level 2 chargers are considerably more affordable, ranging in cost from \$2,500 to \$5,000, while DCFC chargers, ranging from 50 kilowatts to 100 kilowatts, cost anywhere from \$15,000 to more than \$40,000.

Exhibit 2

There are five potential eTruck charging strategies.

Characteristics of charging strategies

	Overnight only	Overnight and mid-route ¹	Mid-route ¹ only	Battery swapping	Overhead catenary
Location	Operator's hub	Operator's hub and private or public mid-route charging station	Private or public mid-route charging station	Operator's hub or public swapping station	While driving, using catenary
Cost	Low capex ² if only Level 2; opex ³ can be lower if charging when electricity cost is lowest at night	Potentially lower capex for chargers and smaller battery; higher opex if using public mid-route charging	Potentially lower capex for chargers and smaller battery; higher opex if using public mid-route charging	High capex for swapping infrastructure and battery storage; high opex for swapping labor	Considerable cost for building catenary infrastructure
Feasibility	Viable today	Limited availability of mid-route charging infrastructure	Limited availability of mid-route charging infrastructure	No pilots for commercial sector	Some pilot projects announced
Flexibility	No flexibility for externalities or total route length	Option to extend stops if needed	Needs predictable routes	Possible only where swapping station available	Possible only where catenary available

¹Mid-route charger owned by operator or public/third party.

²Capital expenditures.

³Operating expenditures.

Exhibit 1

Multiple eTruck use cases exist, but not all are currently feasible.

Use-case feasibility, non-exhaustive Low ● ● ● ● High Most likely use cases

Vehicle class/ application	Commercial use case	Predictability of route	Cold-chain requirement	Daily distance, kilometers
Light commercial vehicles Class 1–3 Urban transport	Last-mile delivery	● Area coverage fixed; routes may vary	● Largely consists of shipments of fast-moving consumer durables, consumer goods, and dry parcels	■ 100
	Small business grocery delivery	● Daily route planned; exact distance/stops may vary	● Cold chain needed for perishable groceries	■■ 200
	Maintenance vans	● Area coverage fixed; routes largely unpredictable	● No cold-chain requirement; only used for repairs	■ 100
Medium-duty trucks Class 4–6 Regional transport	Dry goods distribution	● Daily route planned; exact distance/stops may vary	● Only includes shipments that do not require cold chain	■■ 200
	Refrigerated goods distribution	● Daily route planned; exact distance/stops may vary	● Fully dependent on cold chain due to perishables	■ 100
Heavy-duty trucks Class 7–9 Long-haul transport	Point-to-point distribution	● 60% of long-haul trips have a fixed route, mostly from point-to-point	● Long-haul shipments for industrial goods, consumer goods, etc	■■■■ 400
	Multi-day delivery	● Routes are less predictable	● Long-haul shipments for heavy goods and full truckload cargo	■■■■■■■■ 700

Use case 1: Light commercial vehicles making last-mile deliveries

This first use case will involve LCVs making last-mile deliveries. These routes are typically short—under 100 kilometers per day—and do not involve heavy or refrigerated payloads. Today’s batteries can easily move these small, lightweight trucks, even when they are loaded with packages. In addition, the batteries in these vehicles can easily support these routes, often without the need for en route charging. For instance, a 100 kilowatt-hour (kWh) battery can easily support an LCV driving approximately 130 kilometers per day.

Use case 2: Medium-duty vehicles distributing dry goods

In this use case, MDTs drive across cities or states for dry goods distribution, which typically means delivering goods from warehouses to urban supermarkets or distribution centers. This use

case is feasible over the short term because the eTrucks have a defined and fixed daily route and a known average daily distance traveled of about 200 kilometers. Since their fixed routes have known stop times at either end, the eTrucks can be charged at the beginning and end of their journeys.

Use case 3: Heavy-duty vehicles doing point-to-point long haul

This use case covers large heavy trucks—class 7 and class 8—that drive long distances to deliver goods from ports or production facilities to large distribution centers or warehouses. The exact routes and distances remain highly predictable and fixed, with a range of 400 kilometers or more. These eTrucks typically operate almost continuously using two drivers. Given the extreme service cycles, these use cases will likely emerge last and will probably require en route charging at predetermined stops.

Electric trucks (eTrucks) are entering markets worldwide. As these vehicles are deployed, fleet operators must determine potential use cases, such as last-mile delivery, and select the best charging strategies. We have identified the use cases most likely to electrify first and the most viable charging strategies based on cost, practicality, and other factors.

Charge of the eTruck brigade

McKinsey estimates eTruck adoption will exceed 30 percent by 2030 across different vehicle classes: light commercial vehicle (LCV), medium-duty truck (MDT), and heavy-duty truck (HDT). The potential uptick in adoption will likely be a result of the alignment of several key factors: regulation, electric truck supply, improvements in battery electric technology, and overall economics.

First, the regulatory push to reduce emissions is driving interest in eTrucks across the logistics and transport sectors, which currently contribute 3 to 5 percent of global CO₂ emissions. Regional regulations, such as those in the European Union, require new trucks to reduce CO₂ emissions by 30 percent by 2030. States and cities are creating regulatory push as well. For example, California's recent Advanced Clean Truck regulation requires manufacturers of commercial vehicles to start selling eTrucks in 2024 and restrict all sales to this category by 2045. Likewise, more than 40 cities around the world have begun to ban diesel and gasoline internal combustion engine (ICE) trucks in their city centers.

Next up is supply. While most people would have difficulty naming an eTruck model today, this is already changing. Based on our analysis of automaker future product plans, we expect a five- to

tenfold increase in the supply of eTrucks by 2030. Major OEMs have already announced new models across different weight classes, and we expect there will be more than 30 models by 2040.

Technologic and economic factors will also play a big role in eTruck uptake. Improvements in battery and electric powertrain technology, including those related to safety, energy density, battery supply, and performance, are increasing both vehicle range and consumer confidence. As the technology improves, battery costs are also falling. Over the next decade, they should decline to the point where the total cost of ownership (TCO) for many eTruck models will be similar to or better than the TCO for ICE trucks.

These factors will create a favorable environment for the adoption of eTrucks across the LCV, MDT, and HDT segments. Our analysis of three key markets—China, Europe, and the United States—suggests that demand could reach 2.7 million units by 2025 and 11 million units by 2030.

Potential use cases

Our research revealed that eTrucks could play a role across multiple use cases, although these will vary by vehicle class and application (Exhibit 1). Each use case will differ in terms of required range, payload, route predictability, infrastructure access, model availability, and the need for a cold chain (an uninterrupted series of refrigerated production, storage, and distribution activities for goods). Today's battery packs can best support use cases with predictable routes, relatively shorter ranges, and payloads that do not require cold chains. Thus, we expect three commercial use cases to gain traction first: last-mile delivery, dry goods distribution, and point-to-point long-haul transport.

Anexo 9. Mackesey Company. Why the automotive future is electric

McKinsey
& Company

McKinsey Center for Future Mobility

Why the automotive future is electric

Mainstream EVs will transform the automotive industry and help
decarbonize the planet

IAA 2021: charticle

September 2021

McKinsey Center for Future Mobility
September 2021
Copyright © McKinsey & Company
Designed by Visual Media Europe

www.mckinsey.com

 @McKinsey

 @McKinsey



Authors and contributors

Authors

Andreas Cornet

Ruth Heuss

Andreas Tschiesner

Russell Hensley

Patrick Hertzke

Timo Möller

Patrick Schaufuss

Julian Konzade

Stephanie Schenk

Karsten von Laufenberg

Acknowledgements

We want to thank the teams of the McKinsey Center for Future Mobility for their various contributions to this publication, in particular Deston Barger, Nicolò Campagnol, Michael Guggenheimer, Benedikt Kloss, Nicholas Laverty, Greta Schäffer and Darius Scurtu.

Media contact

Philipp Hühne

Philipp_Hühne@mckinsey.com

Layout, editing

Tobias Mix

Bryce Stewart

Conclusion

Electric vehicles are coming, and we are on the right track regarding decarbonizing the transport sector, though more actions need to be taken. It is an industry transformation taking place at unprecedented speed. It is also crossing industry borders, involving energy, infrastructure, mobility, and automotive players. While a major challenge, it represents a huge opportunity for incumbents

and new players to take a leading role in creating new multi-billion industries and jobs. The key will be to couple sustainability with economic viability through innovative technology and properly guided mobility transformation. Based on its diverse mobility landscape, its focus on sustainability and its proven technology leadership, Europe could emerge as a role model for other regions globally.

Our capabilities

The McKinsey Center for Future Mobility (MCFM) aims to help all stakeholders in the mobility ecosystem navigate the future by providing independent and integrated evidence about possible future mobility scenarios. Our view of trends are grounded in advanced multi-level driver based models that have been validated across industries and players. Each model is based on proprietary data and contributes to an integrated perspective on future mobility trends and scenarios including modal mix, miles traveled, vehicle sales, autonomy, powertrain electrification, battery demand, charging infrastructure, components, consumer behavior, and value/profit pools etc.

This charticle leveraged insights from multiple MCFM models and the broad MCFM Solution team. Please get in touch if you would like to learn more.

Reaching 55% transport emissions reduction by 2030 vs 1990 requires more alternative measures

Annual emissions of passenger vehicle parc in EU¹,
Million tons CO₂e



CO₂e emission reduction measures affecting vehicle parc

Use bio- and syn fuels

Reduce total emissions by 5% if average blend rate increases from 6–11%

Reduce ICE vehicle kilometers traveled

Reduce total emissions by 10% by shifting 10% of private car kilometers to shared and public modes

Accelerate ICE parc turnover

Reduce total emissions by 15% by limiting car age to 15 years starting in 2025

1. Values rounded

Source: McKinsey Center for Future Mobility

3.5 A 55 percent transport emissions reduction target by 2030 versus 1990 requires more drastic measures

Current regulation and targets are not sufficient if the road transport sector wants to fully contribute to the 55 percent CO₂e emissions reduction target by 2030 versus 1990 as required by the Fit for 55 program.

However, passenger cars have one advantage over other industries from a decarbonization point: The zero-emissions option (e.g., the BEV) is cheaper than the current alternative (ICE) from a total cost of ownership perspective in some countries today and by 2025 at the latest in countries without incentives. This is not the case in most other industries, where decarbonizing results in higher costs for both producers and consumers.

However, with the average car age at ten years in Europe, it will take time for EV sales to have an impact at the parc level. The current regulation on sales is therefore not sufficient to meet the goal of a 55 percent emissions reduction from 1990 levels by 2030.

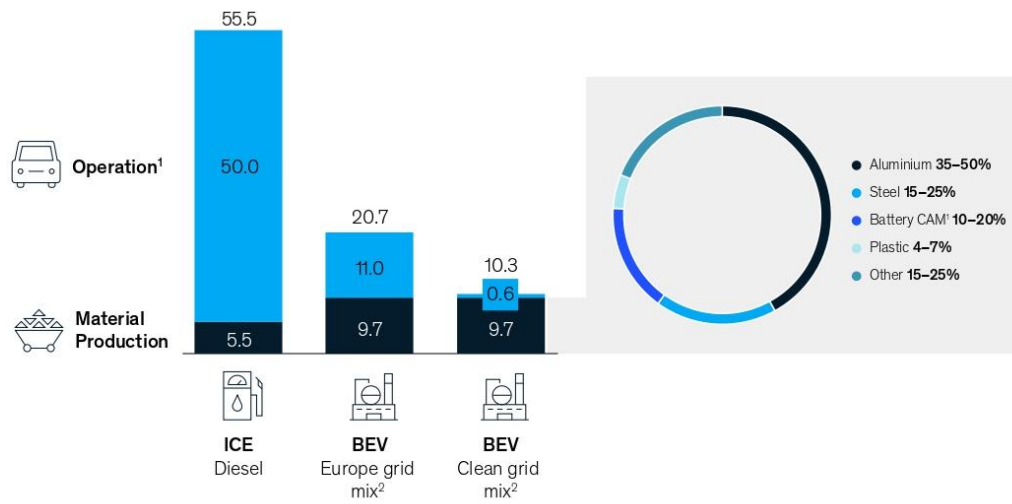
Closing this gap will require further measures targeting CO₂e emissions of the vehicle parc. ICE vehicle kilometers traveled could be decreased by reducing private car kilometers, increasing shared mobility, and changing consumer perspectives on walking/biking.

At the same time, the most efficient lever is to accelerate the ICE parc turnover and remove highly polluting ICE vehicles from the fleet with, for example, "cash-for-clunkers" programs for old ICE cars.

Another way to reduce CO₂e emissions from ICE vehicles is to increase the share of bio- and e-fuels as these have a low carbon footprint and are compatible with the existing ICE parc. However, the majority of bio- and e-fuels supply will be required to decarbonize marine/aviation and commercial road transport, for which only limited zero-emissions alternatives exist today.

Material emissions will dominate vehicle lifecycle emissions when clean energy is used for charging and are the next frontier for automotive emissions reduction

t CO_{2e} emissions over lifecycle mileage of a lower medium segment passenger car



1. Use phase emissions including fuel/electricity production, fuel consumption (real-world values) and maintenance; based on a lifecycle mileage of 243,000 km with 18 years vehicle lifetime for a lower medium segment passenger car

2. Life-cycle GHG emissions of the vehicle's lifetime average electricity mix for a 2021 car based on IEA's Stated Policy Scenario and Sustainable Development Scenario as well as renewable electricity mix of solar and wind energy

Source: McKinsey Center for Future Mobility, ICCT (a global comparison of the lifecycle GHG emissions of combustion engines and electric passenger cars, July 2021)

3.4. Reaching net zero also means decarbonizing EV production

There is a clear path to reducing CO₂ equivalent (CO₂e) emissions from passenger cars in operation. A recent International Council on Clean Transportation (ICCT) analysis stated that the shift from ICE to BEV would reduce total lifecycle CO₂e emissions by around 65 percent based on the current average energy mix in Europe and by 83 percent with entirely green electricity.

As the electricity supply evolves and charging with green energy for a larger fleet of EVs becomes feasible, materials and production will become the dominant sources of emissions in an EV's lifecycle. Today an EV's production generates an almost 80 percent higher emissions intensity compared with an ICE car, due mainly to the battery and the vehicle's higher share of aluminum.

When aiming to reduce material emissions, two main issues matter:

Increasing recycled content. Replacing virgin/primary materials with recycled alternatives will save a large share of emissions associated with the initial generation of raw materials. Replacing 30 percent of primary material with recycled material can save 15 to 25 percent² of production emissions. Recycled material use, however, comes with multiple challenges, including the reality that end-of-life (EOL) collection remains very immature, making it difficult to achieve an automotive-grade materials stream. Furthermore, multiple industries are interested in using recycled material to achieve their decarbonization targets, which will result in supply bottlenecks and the higher prices of several recycled materials.

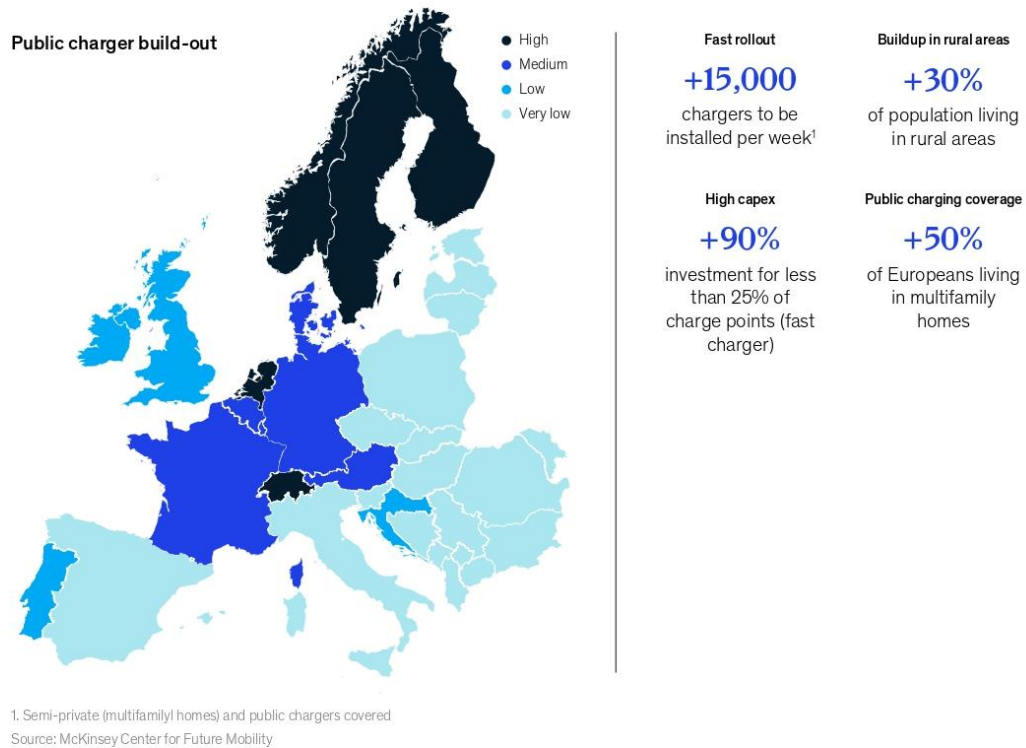
Shifting to green raw materials. Using primary materials produced in a low/no-carbon process enables high-grade materials with low emissions footprints. Examples of this approach include inert anode aluminum smelting via hydroelectricity or steel produced through hydrogen-based direct reduced iron in an electric arc furnace (H₂ DRI-EAF steel). Around 80 to 90 percent of today's typical material emissions can be eliminated with 2030 technologies. The main approaches involve decarbonizing the raw material refining processes by using renewable electricity, for example, and decarbonizing the forming as well as other high-energy manufacturing processes, also via electrification.

While a switch in electricity resources is simple, the shift from today's processes to manufacturing routes that avoid CO₂e emissions altogether—rather than capturing or gradually reducing them—will require significant investments in plants and equipment. A predictable demand for green materials and long-term commitments between suppliers and buyers would help overcome this obstacle in the next decade.

A determined approach to decarbonizing and combining these methods could produce vehicles with 10 to 30 percent of today's production emissions by 2030—a challenging feat but necessary to fulfill the Green Deal aspiration. Nevertheless, decarbonizing the supply chain and achieving Scope 3 emissions reductions may cause vehicle costs to rise at a time when OEMs are trying to lower prices to boost consumer interest and achieve sustainable long-term margins.

² The abatement rate depends on the level of required treatment of end-of-life (EOL) materials for reuse and the type of material.

The EV charging infrastructure buildup faces operational, regulatory, and financial hurdles



3.3. Acceleration in charging infrastructure buildup needed

In line with EV uptake, the buildup of charging infrastructure needs to accelerate to avoid becoming a potential bottleneck and limiting consumer-driven EV adoption. Building charging infrastructure in sync with the EV fleet will be essential in the coming decade.

While first-generation EV buyers relied mainly on private charging (in 2020, 80 percent of EV buyers in Europe had access to private charging), the next generation will depend on public charging. More than 50 percent of Europeans will be living in multifamily homes without private charger access, and public chargers will ensure practicality of EVs for long-distance trips, which prospective EV buyers still consider a main concern.

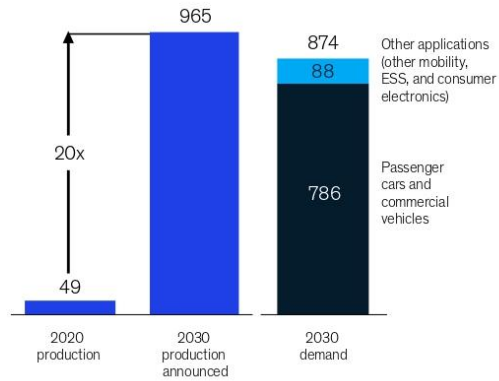
Likewise, regulatory processes to install chargers in private homes require simplification and production capacity for wall boxes must increase. Production scale-up and simplified regulation (in terms of shortened permit and building times) are also necessary for public chargers, in addition to the creation of demand-based coverage.

We estimate the industry needs to install more than 15,000 chargers per week by 2030 within the European Union. Simplified regulations are needed to facilitate charger siting, since it can currently take up to three years to obtain approval for grid extensions for a fast-charging station. Ensuring the EU-wide coverage of public charging is essential to avoid having chargers located only in profitable locations.

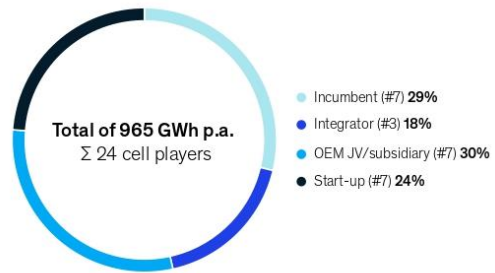
EVs are poised to command on average more than 5 percent of electricity demand in 2030 in Europe. It will be important to reduce charging during peak load periods through “managed charging” by controlling charging time, duration, and intensity with vehicle-to-grid (V2G) technology as an enabler. In a scenario with appropriately managed charging devices in place as well as incentives to charge during nonpeak hours, much of the customer impact on the electric grid will be mitigated.

EU battery cell production sufficient to meet demand

Battery cell demand and announced supply
GWh, accelerated scenario for demand



Battery cell players by archetype in Europe in 2030
Number of players, percent market share of total production capacity



Source: McKinsey Center for Future Mobility; McKinsey Battery Supply Tracker (August 2021)

3.2. Announced EU battery production will likely stay just ahead of demand

Based on announced buildup plans, we expect a 20-fold increase in battery production capacity in Europe to 965 GWh by 2030. Assuming the full capacity is built by 2030, Europe should meet expected demand of 874 GWh. BEV passenger cars and commercial vehicles will drive 90 percent of this battery demand. While on paper announced capacities seem to follow and match demand, in reality temporary implementation risks will likely occur given giga-factory production issues, typically slow yield ramp-ups, fragmentation of the supply chain, and large inflexible OEM contracts. Thus, in an accelerated EV adoption case, battery demand would come very close to exceeding announced supply in the medium term. In the next ten years, we expect the mining industry to slow down and other geopolitical and supply chain crises to pop up periodically, leading to some short-term price spikes in commodities like nickel and lithium.

Battery cell production is moving physically closer to vehicle assembly plants. While ten years ago almost all cells were imported from Asia, regional production hubs exist today in Eastern Europe, for example. Furthermore, multiple plants will go onstream in key vehicle-producing countries like Germany, the United Kingdom, and France and in low-carbon-emitting environments such as Norway and Sweden.

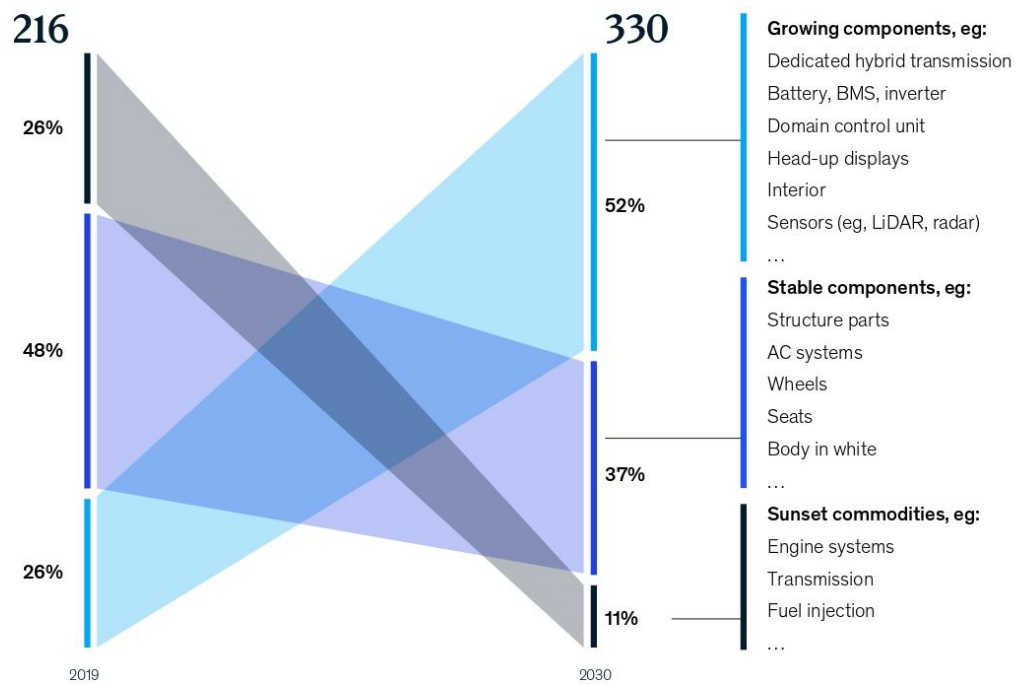
In addition to incumbent battery cell players from Asia setting up locations in Europe, some entirely new companies are entering the space. One key development in battery sourcing involves the backward integration of OEMs from packs and modules up to cell production – mostly in the form of joint ventures with cell manufacturers. OEM backward integration plans result from their growing battery cell demand, the desire for control and certainty of supply, and the ambition to keep a significant part of vehicle value creation inhouse. OEMs are also seeking areas for differentiation, with battery technology, durability, and performance seen as key evaluation criteria for BEVs.

Production of raw materials and battery components follow the localization trend of battery cell plants. However, there is a time lag and only some of the raw materials needed, which include nickel, cobalt, lithium, and graphite, are available for local sourcing in Europe. Companies must therefore compete globally to secure required volumes and do it sustainably in line with environmental, social and governance (ESG) criteria. While all four commodities must ramp up quickly, with potential price variation in the future, nickel will likely be the commodity under the most pressure in the short to medium term.

Electrification will cause a major shift in the entire supply chain

Accelerated scenario, European market

Market size development
€ billions



Source: McKinsey Center for Future Mobility

3.1. Electrification will cause a major shift in the entire automotive supply chain

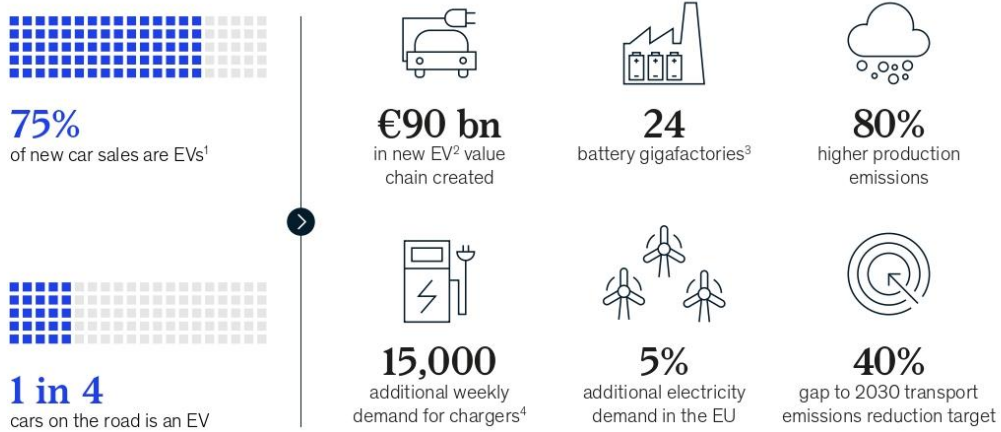
The transformation of the automotive industry toward electrification will disrupt the entire supply chain and create a significant shift in market size for automotive components. Critical components for electrification such as batteries and electric drives and for autonomous driving like light detection and ranging (LiDAR) sensors and radar sensors will likely make up about 52 percent of the total market size by 2030. Components only used in ICE vehicles such as conventional transmissions, engines, and fuel injection systems would see a significant decline to around 11 percent by 2030 – about half the size of 2019 levels. Such a drastic

shift will force traditional component players to adapt quickly to offset decreasing revenue streams.

The scale of disruption will be significant: according to the Institute for Economic Research (Ifo) in Munich, more than 100,000 jobs will change in the German automotive industry by 2030. That is roughly five to ten times the scale of jobs compared with the phaseout of coal power that Germany announced for 2038.

The e-mobility transformation will disrupt more than the automotive industry

Passenger vehicles, EU+GB+CH+NO, 2030, accelerated scenario



1. EVs include BEVs, PHEVs, FCEVs

2. Includes electric drive, battery packs, power electronics, and thermal management

3. Assumes an average gigafactory with annual capacity of 25 GWh

4. Assumes an ideal EV-charger ratio of 10:1 and refers to public chargers, including chargers in multifamily homes

Source: McKinsey Center for Future Mobility; EU Regulation 2019/631 amendments; McKinsey Battery Demand Model

3. The e-mobility transformation will disrupt more than the automotive industry

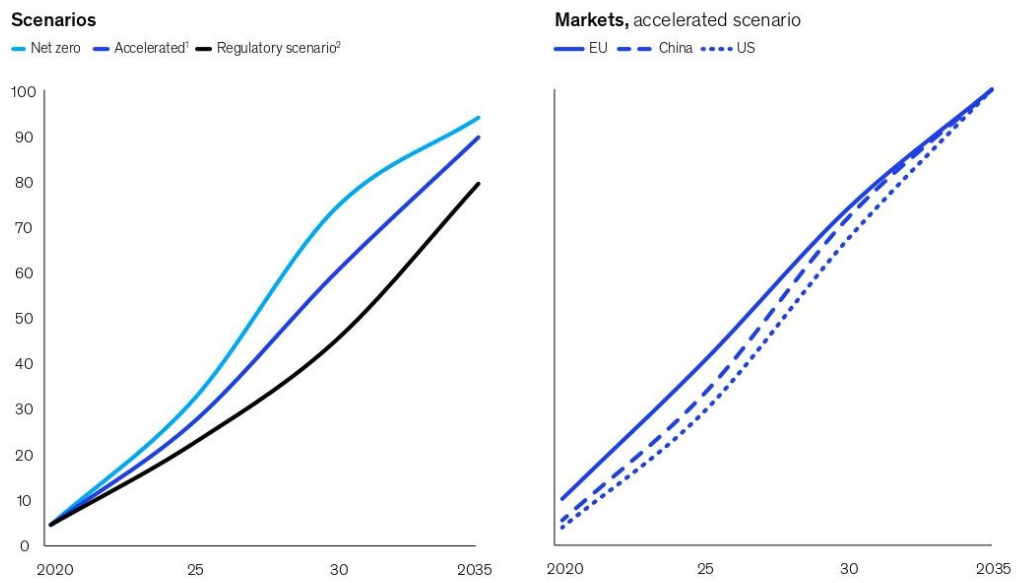
In the European Union, achieving the accelerated scenario of around 75 percent EV sales by 2030 will have implications for the entire EV value chain and ecosystem. In parallel, the industry must decarbonize the full lifecycle of vehicles to get closer to a net-zero target.

Incumbent automotive suppliers need to shift production from ICE to EV components. Europe will have to build an estimated 24 new battery giga-factories to supply local passenger EV

battery demand. With more than 70 million EVs on the road by 2030, the industry will need to install large numbers of public chargers and provide maintenance operations for them. Renewable electricity production needs to increase by 5 percent to meet EV charging demand. Finally, emissions from BEV production must decline, since BEVs currently have 80 percent higher emissions in production than ICE vehicles.

By 2035, the largest automotive markets (the EU, US, and China) will be fully electric

EV (BEV, FCEV, PHEV) sales in percent of new passenger vehicle sales



1. Most likely scenario under which consumer adoption will exceed regulatory targets
 2. Scenario under which currently expected regulatory targets will be met

Source: McKinsey Center for Future Mobility; McKinsey Electrification Model; literature search; ICCT; EV-volumes.com; IHS Markit

2. By 2035, the largest automotive markets will go electric

Regulatory pressure and the consumer pull toward EVs vary greatly by region. Europe is mainly a regulation-driven market with high subsidies, while in China consumer pull is very strong despite reduced incentives. In the United States, EV sales have grown slowly due to both limited regulatory pressure and consumer interest, although the regulator trend is set to change under the new administration.

On a global level, we expect EV (BEV, PHEV, and FCEV)¹ adoption to reach 45 percent under currently expected regulatory targets. However, even this transformative EV growth outlook is far below what's required to achieve net zero emissions. EVs would need to account for 75 percent of passenger car sales globally by 2030, which significantly outpaces the current course and speed of the industry.

We believe Europe – as a regulatory-driven market with positive consumer demand trends – will electrify the fastest and is expected to remain the global leader in electrification in terms of EV market share. In addition to the European Commission target, which requires around 60 percent EV sales by 2030, several countries have already announced an end to ICE sales by 2030. In line with this, seven OEM brands have committed to 100 percent EV sales by 2030 within the European Union. In the most likely

accelerated scenario, consumer adoption will exceed regulatory targets and Europe will reach around 75 percent EV market share by 2030. The European Union announced a zero-emissions target for new cars by 2035.

China will also continue to see strong growth in electrification and remain the largest EV market in absolute terms. Uptake results from strong consumer pull, despite low EV subsidies and no official end date for ICE sales. However, the government's dual-credit policy has led to an increased EV share in OEMs' portfolios. Our adoption modeling yields a Chinese EV share above 70 percent for new car sales in 2030 in the accelerated scenario.

In the United States, the Biden administration announced a 50 percent electrification target for 2030, strong investments in charging infrastructure, and more stringent fleet emissions targets. EV uptake will result mainly from regulatory support in California and other states that follow its CARB ZEV regulation. US OEMs support electrification targets and have declared ICE bans by 2035, meaning the United States will follow Europe and China in EV uptake with a small delay; it is expected to exceed current regulatory targets and reach 65 percent EV sales by 2030 in the accelerated scenario.

¹ Battery electric vehicles, plug-in hybrid electric vehicles, and fuel cell electric vehicles.

1. The future of passenger vehicle powertrains is electric; the transformation is ongoing

The tipping point in passenger EV adoption occurred in the second half of 2020, when EV sales and penetration accelerated in major markets despite the economic crisis caused by the COVID-19 pandemic. Europe spearheaded this development, where EV adoption reached 8 percent due to policy mandates such as stricter emissions targets for OEMs and generous subsidies for consumers.

In 2021, the discussions have centered on the end date for internal combustion engine (ICE) vehicle sales. New regulatory targets in the European Union and the United States now aim for an EV share of at least 50 percent by 2030, and several countries have announced accelerated timelines

for ICE sales bans in 2030 or 2035. Some OEMs have stated their intentions to stop investing in new ICE platforms and models and many more have already defined a specific date to end ICE vehicle production. Consumer mindsets have also shifted toward sustainable mobility, with more than 45 percent of car customers considering buying an EV.

However, the continued acceleration of electrification is putting significant pressure on OEMs, their supply chains, and the broader EV ecosystem to meet these targets. This is particularly obvious with respect to setting up the required charging infrastructure.

Content

1. The future of passenger vehicle powertrains is electric; the transformation is ongoing	7
2. By 2035, the largest automotive markets will go electric	8
3. The e-mobility transformation will disrupt more than the automotive industry	10
3.1 Electrification will cause a major shift in the entire automotive supply chain	12
3.2 Announced EU battery production will likely stay just ahead of demand	14
3.3 Acceleration in charging infrastructure buildup needed	16
3.4 Reaching net zero also means decarbonizing EV production	18
3.5 A 55 percent transport emissions reduction target by 2030 versus 1990 requires more drastic measures	20

Regulation, technology, and consumer behavior will change the mobility landscape

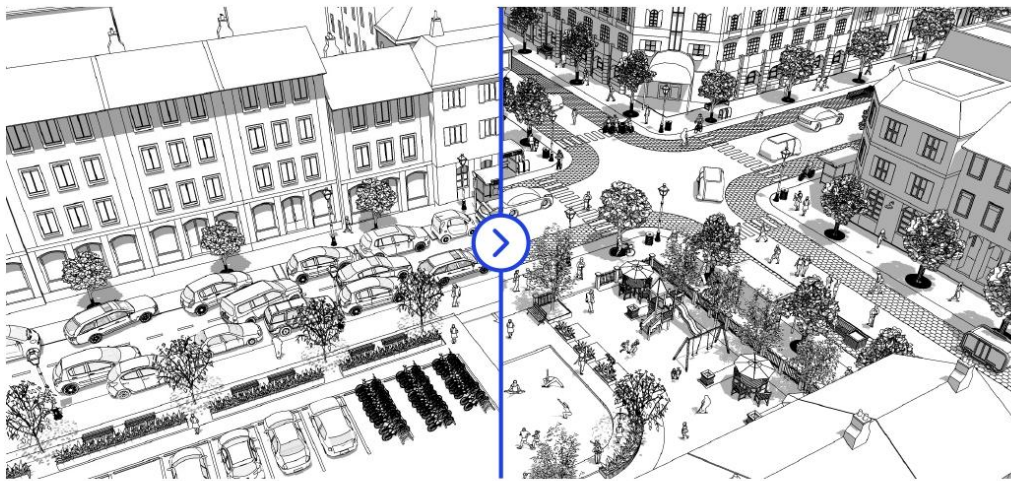
Illustrative change of the city landscape between today and 2030

Today

Cities suffer from emissions, congestion, and safety ...

2030

... which is set to change with the arrival of new integrated mobility solutions



Electrification is one of the key enablers for new integrated mobility across vehicle segments, e.g.,



Scooters

Paris recently granted a 2-year contract for the implementation of 5,000 e-scooters



Passenger cars

Oslo reached 66% passenger EV adoption in July 2021



Buses

Shenzhen has already fully electrified its 16,000 unit bus fleet as well as 22,000 taxis

Source: McKinsey Center for Future Mobility

Introduction

That hum in the distance is the sound of the concept of mobility changing – for the better. While challenges to the electrification of the vehicle parc persist, opportunities worth fighting for also lay ahead. This is particularly evident in cities, where emissions, congestion, and safety constitute major issues today. If the status quo continues, mobility problems will intensify as population and GDP growth drive increased car ownership and vehicle miles traveled. In response, the mobility industry is unleashing a dazzling array of innovations designed for urban roads, such as mobility-as-a-service, advanced traffic management and parking systems, freight-sharing solutions, and new transportation concepts on two or three wheels.

The current opportunity to transform the way we move fundamentally results from changes in three main areas: regulation, consumer behavior, and technology.

Regulation. Governments and cities have introduced regulations and incentives to accelerate the shift to sustainable mobility. Regulators worldwide are defining more stringent emissions targets. The European Union presented its “Fit for 55” program, which seeks to align climate, energy, land use, transport, and taxation policies to reduce net greenhouse gas emissions by at least 55% by 2030, and the Biden administration introduced a 50 percent electric vehicle (EV) target for 2030. Beyond such mandates, most governments are also offering EV subsidies.

Cities are working to reduce private vehicle use and congestion by offering greater support for alternative mobility modes like bicycles. Paris announced it will invest more than \$300 million to update its bicycle network and convert 50 kilometers of car lanes into bicycle lanes. Many urban areas are also implementing access regulations for cars. In fact, over 150 cities in Europe have already created access regulations for low emissions and pollution emergencies.

Consumer behavior. Consumer behavior and awareness are changing as more people accept alternative and sustainable mobility modes. Inner city trips with shared bicycles and e-scooters have risen 60 percent year-over-year and the latest McKinsey consumer survey suggests average bicycle use (shared and private) may increase more than 10 percent in the post-pandemic world compared with pre-pandemic levels (See also [“The future of micromobility: Ridership and revenue after a crisis”](#), July 2020). In addition, consumers are becoming more open to shared mobility options. More than 20 percent of Germans surveyed say they already use ride-pooling services (6 percent do so at least once per week), which can help reduce vehicle miles traveled and emissions (See also [“Shared mobility: Where it stands, where it's headed”](#), August 2021).

Technology. Industry players are accelerating the speed of automotive technology innovation as they develop new concepts of electric, connected, autonomous, and shared mobility. The industry has attracted more than \$400 billion in investments over the last decade – with about \$100 billion of that coming since the beginning of 2020. All this money targets companies and start-ups working on electrifying mobility, connecting vehicles, and autonomous driving technology (See also [“Mobility's future: An investment reality check”](#), April 2021). Such technology innovations will help reduce EV costs and make electric shared mobility a real alternative to owning a car.

Electrification will play an important role in the transformation of the mobility industry and presents major opportunities in all vehicle segments, although the pace and extent of change will differ. To ensure the fast, widespread adoption of electric mobility, launching new EVs in the market is an important first step. In addition, the entire mobility ecosystem must work to make the transformation successful, from EV manufacturers and suppliers to financiers, dealers, energy providers, and charging station operators – to name only a few.

McKinsey Center for Future Mobility

Why the automotive future is electric

Mainstream EVs will transform the automotive industry and help decarbonize the planet

IAA 2021: charticle

Anexo 10. Energy and Built Environment. The environmental and financial implications of expanding the use of electric cars - A Case study of Scotland

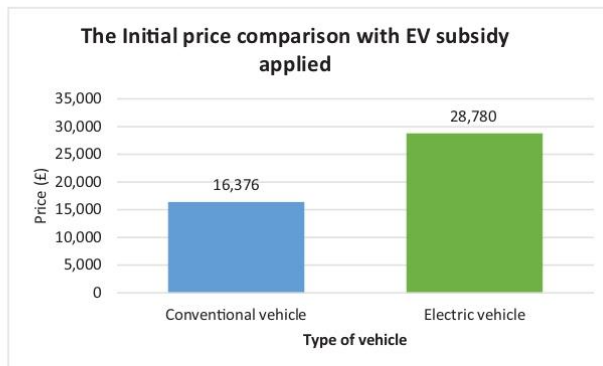


Fig. 11. Initial cost comparison between electric and conventional cars with EV subsidy applied.

significantly decreased. In fact, nowadays wind energy is considered to be the cheapest source for electricity production. According to Wind Europe [30], the cost of offshore wind is expected to decrease to €60 (£55)/MWh by 2025. Bloomberg New Energy Finance (BloombergNEF) also predicted that by 2022 the ownership cost of electric cars will decrease below the conventional diesel and petrol ones. In addition, the cost of lithium-ion batteries has dropped by 65% between 2010 and 2016 and it is expected that by 2030 the price of EV batteries will drop below \$120/kWh (circa £98/kWh) [31].

Regarding the economic point of view, this paper has not taken into consideration the maintenance cost of conventional and electric vehicles, more specifically the engine and battery life. Another important point excluded from this paper is the fact that Battery EV (Plug-in EV) owners are exempt from road tax [32]. From the economic perspective, another point which is not taken into consideration is the cost of the charging stations that owners may pay for. Those costs normally include a monthly fixed fee and a demand charge [33].

In March 2016, Longannet, the 2400 MW coal-fired power station was closed, leaving Scotland with very little energy generated from that source [34]. Since then the country distributed that demand across gas and wind energy. This has led to a more sustainable future which is discussed in this paper causing a positive prediction regarding carbon emissions from the energy generation sector. CO₂ levels are expected to be reduced over the coming years in Scotland. Hence, further research in the area will be required when more renewable energy is added to the grid [35]. As for the emissions in Scotland, only values from the traffic and the electricity generation are considered in this paper. The emission from the manufacturing of both types of cars is not considered in this paper. Research show that there are no significant difference in the carbon emission; however, electric cars require slightly more carbon to be manufactured due to the battery [36]. However, life-cycle assessment of both types of vehicles should be investigated further in order to acquire more accurate numbers on the long term, given the expected improvement of the technology of the battery.

The production of electric car batteries contributes to the generation of carbon emissions, which has not been taken into consideration in this paper. Conventional vehicles do not only contribute directly to CO₂ emissions by burning the fuel, but also indirectly by the extraction of oil, its process operations, and the transportation of gasoline/diesel to the gas stations, which all produce carbon emissions. That is not included in this investigation either. Moreover, the additional energy that will be needed for heating during cold seasons is not included in the analysis of energy demand for electric cars, and it will be the subject of futures studies due the variation in weather conditions. Further research is still required to explore further the effect of the electric cars on the environment, and their cost impact on the owners.

5. Conclusion

The scenario of replacing all diesel and petrol light-duty vehicles in Scotland with electric cars would have diverse pros and cons. As a result of the massive expansion of electric vehicles, the electricity demand will be expected to rise and hence the production of more energy leading to a slight increase in carbon emission levels. Although the CO₂ levels are expected to rise in such a situation, the traffic emissions will decrease significantly because there would not be any light-duty vehicles to pollute during operation. Therefore, this will lead to a reduction in the total amount of carbon emissions from the electricity grid by approximately 33.7%.

In addition, during cold weather, owners would need to use the electric heating of the car, which uses energy from the battery, this is expected to reduce the range by 28%.

With extended utilisation of electric vehicles, owners would spend more money as an initial cost compared to conventional cars (about 75.7%) even with the EV subsidy in the UK. In the long term, electric vehicles would save money to their owners, because of the considerably low price of electricity compared to that of petrol and diesel fuel, with estimated savings of about 69.1% per annum.

All in all, the extended usage of electric vehicles in such scenario is expected to have a positive impact on the environment. Although, it depends on what the electricity generation mix is. The more eco-friendly sources are used to generate electricity, such as renewables and nuclear power plants, the more the positive impact would be. One of the main advantages is reducing pollution on busy roads and in cities, which should contribute to better public health conditions.

Declaration of Competing Interest

The authors declare that there is no conflicts of interest.

CRediT authorship contribution statement

George Milev: Software, Validation, Writing - original draft, Visualization, Formal analysis, Conceptualization, Investigation. **Astley Hastings:** Supervision, Conceptualization, Methodology, Validation, Writing - review & editing. **Amin Al-Habaibeh:** Supervision, Conceptualization, Methodology, Investigation, Validation, Writing - review & editing, Visualization, Formal analysis.

Acknowledgment

The authors would like to thank DTA3 COFUND H2020/Marie Skłodowska-Curie PhD Fellowship programme for partially funding this research work (Grant Agreement Number: 801604).

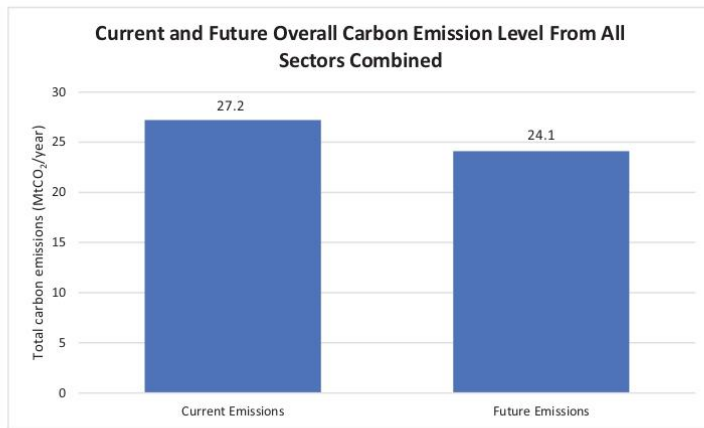


Fig. 8. A comparison between the current and future total carbon emission in Scotland from all sectors.

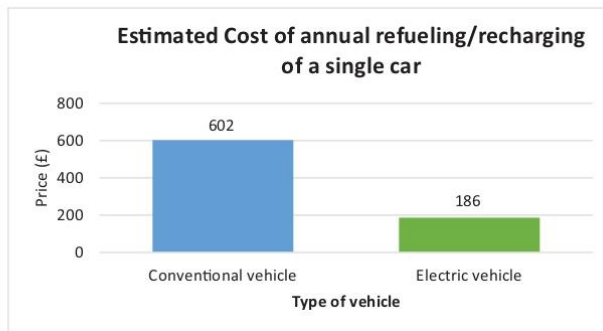


Fig. 9. A Comparison of refuelling/recharging cost for 1 year.

3.4. Estimated costs of ownership and use

The application of Eq. (1). Eq. (2) has revealed that a petrol/diesel car would need approximately 483 Litres of fuel in order to cover the expected annual mileage of 11,362 km per vehicle. For the same distance, an electric vehicle would need about 1551 kWh to cover the required distance per annum. Taking the price of fuel and electricity into consideration, the results are presented in Fig. 9 where the estimated running costs of a petrol/diesel fuel and electric vehicle are estimated to be £602 and £186 respectively. Hence, it is clear that electric cars are about 69.1% cheaper to be powered. In this analysis, maintenance costs are ignored for both types of vehicles.

Fig. 10 presents the initial ownership cost of both types of vehicles. Currently, it is estimated that electric cars are currently 97% more expensive than conventional ones without any subsidy.

Since the maximum subsidy of an electric vehicle that can be granted in the UK is £3500, Fig. 11 presents the overall cost indicating electric cars to be only 75.7% more expensive.

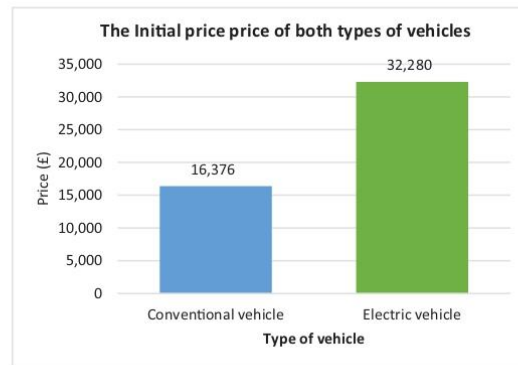


Fig. 10. The initial cost comparison between electric and conventional cars.

4. Discussion

This paper has looked at a case study scenario where every light-duty vehicle in Scotland is assumed to be replaced by an electric car. The investigation and the calculations are based on the popular brands and models of both types of vehicles for the period of 2015–2016. For popular cars, the number of registered ones in 2015 is considered. In the future, changes can be expected, because new and more efficient

vehicles may appear in the market. Due to such expected changes, the prices of vehicles and fuel/electricity may vary through the years. Car models that have been considered new for that period will drop in price with time. The situation with the price of electricity and fuel is similar, their price varies slightly through the years. When the demand for electricity increases it is expected that its cost might rise as well. Since 2016 the prices of electricity from solar panels and wind turbines have

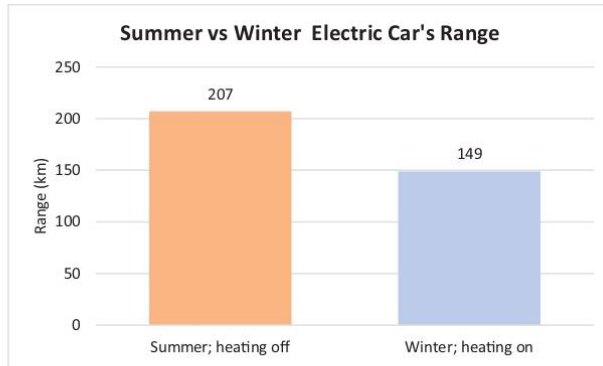


Fig. 6. A comparison between an EV during the summer and an EV during the winter with heating on.

Table 4
The amount of CO₂ emitted from the electricity generation produced from each source for current and future scenarios.

	Scenario (a) Current Emissions	Scenario (b) Future Emissions (assuming current% of energy mix)	Scenario (c) Future Emissions (with fixed coal production levels)	Scenario (d) Current Emission (assumed replacement of all coal energy sources)	Scenario (e) Future Emissions (no coal sources)
Source	Emissions per source (kTons CO₂/year)	Emissions per source (kTons CO₂/year)	Emissions per source (kTons CO₂/year)	Emissions per source (kTons CO₂/year)	Emissions per source (kTons CO₂/year)
Nuclear	442	447.94	489.91	589.33	637.25
Coal	2750	2973.59	2750	0	0
Gas	1615	1746.3	1790.07	2153.33	2328.4
Hydro	35	37.85	38.79	46.67	50.46
Renewables	247.5	267.62	274.33	330	356.83
TOTAL	5089.5	5503.3	5343.1	3119.33	3372.94

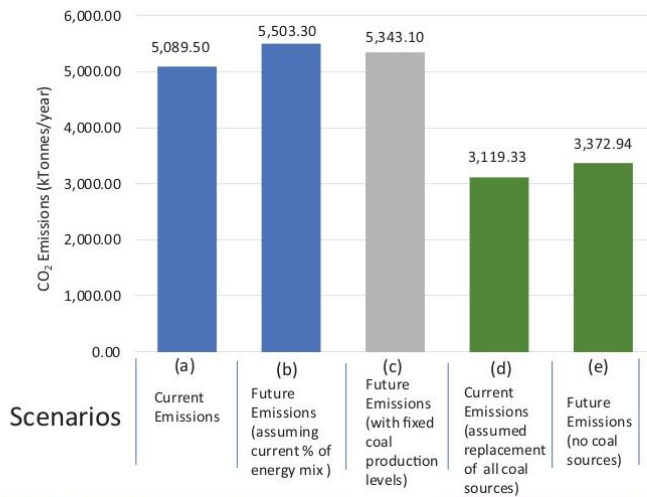


Fig. 7. A comparison between five scenarios of carbon dioxide emissions from electricity generation.

Annual Energy Generated (GWh)	50,000	54,065	54,065	50,000	54,065
% Coal	25	25	23.12	0	0
% Nuclear	34	34	34.85	45.33	45.33
% Gas	19	19	19.48	25.33	25.33
% Renewables	12	12	12.3	16	16
% Hydro	10	10	10.25	13.33	13.33

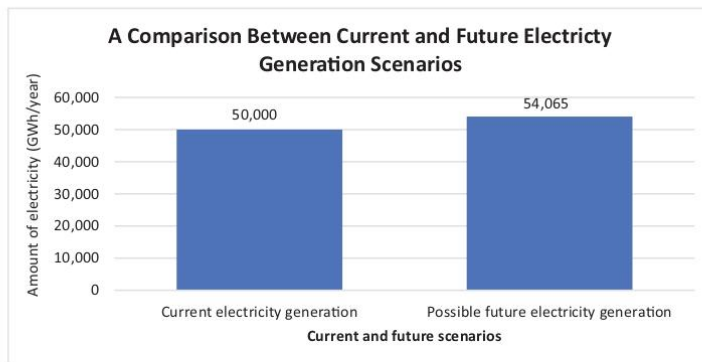


Fig. 5. A comparison between the current and future scenarios of electricity generation.

the amount of carbon emission from the additional energy generation needed for electric cars is calculated. Hence, the carbon emission level between the current time period (2015–2016) and the possible future scenario of electricity generation is considered. From the literature review, it has been found that the CO₂ emission from the current traffic is about 3.6 Megatons (MTons) per year.

2.4. Initial and running costs

It has been found essential to estimate the ownership and the running cost of electric cars in comparison to conventional technology. Eqs. (1) and (2) are utilised to determine the average fuel consumption among conventional cars in Scotland and how much fuel the total amount of light-duty vehicles in Scotland would need. Such values are needed in order to calculate the cost of fuel for a year per vehicle. Knowing consumption values and the price of fuel (£/L) and electricity (£/kWh), the cost of running an electric car versus a conventional car can be compared.

3. Results

3.1. Energy demand

Using Eq. (1), the average electricity consumption among popular electric cars in Scotland is calculated to be 13.65 kWh/100 km. This value is used in Eq. (2), which allowed us to determine the annual energy required for a single electric car, which is estimated to be 1551 kWh. By multiplying the required energy per vehicle to the number of light-duty vehicles on the road (2240,000 vehicles), the total energy required for all the electric cars in Scotland would be 3474,045,120 kWh, or simply 3474 GWh. The grid loss of 17% has been considered as well to get a more accurate value for the required energy that will need to be produced. Hence the total energy to be generated is 1.17×3474 GWh, making the minimum future energy generation to be 4065 GWh. Fig. 5 presents the electricity production needed in both scenarios.

3.2. Car heating

The power needed to heat the car's interior during the winter, including heat losses through windows and car's body surface; assuming a car speed of 60 miles per hour and the ambient temperature of 1 °C, is calculated to be 5.36 kW. Which when expressed in terms of range, this will be equivalent to a reduction in the range of about 28%, given the above-assumed conditions and that only the driver is on-board. Fig. 6 presents an example of the expected difference in the range of an electric vehicle during cold and warm seasons due to the power needed to heat the car's interior and windscreens in cold weather.

3.3. Carbon emissions

By applying Eq. (6), the carbon dioxide emission from the electricity generation produced from each source for the period of 2015–2016 and in the case of the future scenarios are presented in Table 4 and Fig. 8, which compare between five scenarios of carbon emissions of Scotland, as follows:

- The current scenario with the current energy mix (the current number of conventional cars).
- A future scenario of carbon dioxide emission, assuming the same current energy mix, for the additional electricity to charge the new electric cars.
- A future scenario of carbon dioxide emission with fixed current coal production levels but no further energy coal production for the additional energy.
- The assumed current scenario of carbon dioxide emission if the energy from coal is replaced by other sources as relative benchmark.
- A future scenario of carbon dioxide emission when no electricity is produced from coal and the rest of the energy mix maintains the same energy ratio.

Adding the additional amount of CO₂ emissions to the current scenario, (scenario a), reveals that the future carbon dioxide levels would be approximately 5503.3 kTons for the same energy mix (scenario b). It is expected that coal will be phased out either only for the additional energy produced for electric cars (scenario c); or completely eliminated (scenario e), where more renewable and nuclear energy will be utilised to generate electricity.

Scenario (d) is an assumed scenario for the current carbon emission from the electricity grid when coal is eliminated from the energy mix while maintaining the same ration of other energy sources. This suggests that carbon emissions from the grid will be reduced as renewable energy produce about 47.25 gCO₂/kWh, whereas coal is emitting approximately 220 gCO₂/kWh.

The resultant carbon emission and percentage of energy mix are presented in Fig. 7, where scenario (e) could be achieved by removing all coal from the mix, this should achieve a reduction in carbon dioxide emission of about $\frac{5089.50 - 3372.94}{5089.50} = 33.7\%$.

From Fig. 8, it can be concluded that the total amount of emissions from traffic and electricity production combined will decrease when electric cars are implemented in the Scottish fleet. This is an estimated decrease of approximately $\frac{27.2 - 24.1}{27.2} = 11.4\%$, this is the overall reduction from all sectors combined including residential, grid, transportation, industrial and agriculture.



Fig. 4. The infrared image of the tested car during winter with calibrated temperatures based on the measured values from the temperature data logger.

It has been found also important to include the grid losses, which will give a more accurate value of the required future energy. Both current and future scenarios of electricity generation will be compared in this paper.

2.2. Heating of car's passenger compartment

Electric Vehicles will need to consume some of the power from the battery for heating the passengers' compartment. Hence, heating will affect electricity consumption and the available range. When considering the average interior space volume of light-duty vehicles, it has been estimated to be 2.93 m^3 [26]. Assuming the internal temperature is kept at $21 \text{ }^\circ\text{C}$ as the desired temperature, the minimum average ambient temperature in Scotland during the winter season is estimated to be $1 \text{ }^\circ\text{C}$ [22]. The following equation hence can be used to determine the heat required to warm up the car's interior:

$$E = m \times c \times (T_d - T_c) \quad (\text{Eq. (3)})$$

Where: E is the energy required to reach the desired temperature T_c ; m is the mass of air inside the car; c is the specific heat capacity of the air inside the car in $\text{J/kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$; and T_d is the desired temperature in $^\circ\text{C}$.

Before applying Eq. (3), the mass of air (m) is determined using the following calculation:

$$m = \rho \times V \quad (\text{Eq. (4)})$$

Where ρ is the density of the air in kg/m^3 ; and V is the volume of the car's interior space volume in m^3 .

The heat losses through the windows and external envelop are calculated using Eq. (5) [27]:

$$P = 5.67 \times \epsilon_{hot} \times \left[\left(\frac{T_i}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{out}}{100} \right)^4 \right] + 3.8054 \times \vartheta \times (T_i - T_{out}) \quad (\text{Eq. (5)})$$

Where: P is the thermal power loss through convection and radiation in W/m^2 ; ϵ_{hot} is the emissivity which for glass is 0.93 [28] and for iron/aluminium is 0.29 [28]; T_i is the surface temperature in K ; T_{out} is the ambient temperature in K ; 3.8054 is the convection heat transfer coefficient in $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$; ϑ is the wind speed in m/s . For ϑ the speed of a car is chosen to be on 60 miles/h or 97 km/h, which is in SI units will be 27 m/s.

In order to determine T_i for the windows' surface and the car's body surface properly, a thermal image of a vehicle is taken and a temperature data logger was attached to the external body of the car to evaluate the temperature performance. The car was driven at 60 miles per hour and

the external surface temperature of the car was measured. Fig. 4 presents the infrared image of the car, with calibrated temperature readings. The results have indicated that T_i for the windows was $9.9 \text{ }^\circ\text{C}$ and the vehicle's body surface was $5.5 \text{ }^\circ\text{C}$. The authors have used a diesel engine car to estimate the windows and body temperature when the internal compartment is at $21 \text{ }^\circ\text{C}$. The assumption is that an electric car will need to maintain the same internal temperature from the batteries for a similar journey and weather conditions.

Eq. (5) is used for the total windows and windscreens area which is estimated to be at a temperature of $9.9 \text{ }^\circ\text{C}$ and an area of 2.96 m^2 ; and also for the car body (doors and panels) which is estimated to have an area of 5.57 m^2 [29] and at a temperature of $5.5 \text{ }^\circ\text{C}$. Eq. (4) is used to calculate the energy needed to keep the passengers' compartment at a temperature of $21 \text{ }^\circ\text{C}$ with the assumption that the driver is the only person on-board without other passengers. This analysis will provide the amount of energy that will be needed from the battery to keep the driver at a comfortable temperature and prevent condensation on the windscreen (ignoring any electric heaters used directly to heat the windscreen). This is expected to influence the actual range of the car in cold weather and the analysis will provide an insight into this. The average range of an electric car is calculated using Eq. (1) to determine the average battery capacity and Eq. (2) to find out the average range of an EV. Eq. (2) is used to calculate the range when the heating is needed and to compare the range in warm weather when heating is not needed but ignoring air conditioning systems for cooling). The analysis assumed the driver's body will produce 100 W of heat while in the car.

2.3. Carbon emission

The literature review has provided useful information on how much carbon emission light-duty vehicles produce and the carbon factor of each source of electricity in Scotland for the period of 2015–2016, and the information needed on how much electricity Scotland produces per annum and the carbon factor of each source. The carbon emission level can be calculated for each energy source using Eq. (6):

$$CE = AE \times CF \quad (\text{Eq. (6)})$$

Where CE is the Carbon Dioxide Emission from the electricity production in kg ; AE is the amount of electricity in kWh ; and CF is the carbon factor of the source of energy in kgCO_2/kWh . To simplify the presentation of figures, the Carbon Emission values are presented in kilotons (kTons).

Following the calculation of the carbon emission from each source, the total carbon emission for each scenario is calculated taking into consideration the electricity generation mix by percentages and an estimated 17% of grid losses. Using the same methodology as above,

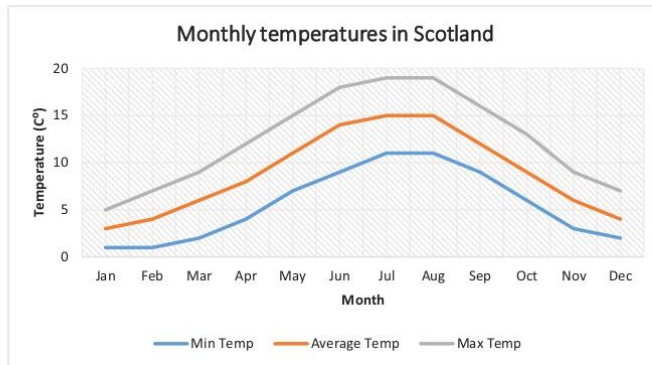
Table 2

Top 5 registered electric vehicles in the UK for 2015, reproduced based on data from reference [19].

Brand	Battery capacity (kWh)	Consumption (kWh/100 km)	Number of registered cars in 2015	Price (£)	Distribution (%)
Nissan Leaf	24	14	11,000	29,000	49
BMW i3	22	13	3574	38,000	16
Renault Zoe	22	11	3327	21,000	15
Volkswagen e-UP	18.7	14	2500	19,000	11
Tesla Model S	85	16.9	2000	75,000	9

Table 3Top 5 registered conventional vehicles in the UK for 2015, their CO₂ factor, price, Distribution, and average fuel consumption, reproduced based on data from reference [20].

Vehicle model	CO ₂ (g/km)	Price (£)	Distribution (%)	Number of registered cars	Consumption (L/100 km)
Ford Fiesta	147	15,400	30	133,434	4
Vauxhall Corsa	129	10,800	21	92,077	4.7
Ford Focus	159	18,000	19	83,816	3.7
Volkswagen Golf	112	20,600	16	73,409	3.9
Nissan Qashqai	162	19,800	14	60,814	4

**Fig. 3.** The average monthly temperatures in Scotland reproduced based on data from reference [22].

ceive a 35% grant from the price of the electric car as a subsidy, which in most cases is reduced from the price of the vehicle. The maximum amount of that subsidy is £3500 [25].

1.5. Aim

This paper aims to determine what would be the impact on electricity demand, carbon emission and running and ownership costs, in a proposed scenario where fossil fuel light-duty vehicles are replaced with electric ones in Scotland.

2. Methodology

In order to find out what the effect of switching to electric cars would be, the methodology is divided into three parts: energy demand, carbon emissions, and costs.

2.1. Energy demand

The literature review has provided information on how much electricity is produced in Scotland annually and how much is the demand in a year. The number of light-duty cars is presented for the period 2015–2016. The first step of the methodology is to determine the increase in demand for electricity when moving from fossil fuel to electricity. In order to acquire an appropriate number, it has been found important to discover what are the most popular electric cars for Scotland,

Eq. (1) is utilised to determine the average value of electricity consumption among the most popular electric cars based on the market share for each brand and its specifications. The equation is as follows:

$$EC_{total} = \sum_{i=1}^n (EC_i \times PP_i) \quad (\text{Eq. (1)})$$

Where EC represents the Electricity consumption (kWh/100 km) and PP is the Percentage Proportion of the vehicles according to the brand's popularity, represented as (value)% per 100; n is the number of cars included in the investigation.

Knowing how much is the annual mileage done by a car and how much is the average energy consumption of electric cars, the energy demand of a single car can be determined as:

$$RE = (ADT \div 100) \times AEC \quad (\text{Eq. (2)})$$

Where RE represents the Required Electricity for a single electric car (kWh), ADT is the Annual Distance Travelled (km), and AEC is the Average Electricity Consumption of an electric car (kWh/100 km). After determining RE , it is multiplied by the number of light-duty vehicles (2240,000). Through the literature review, the losses through the electricity grid have been established to be 17% which will be lost from the total electricity generated, hence 17% additional energy will need to be generated to compensate for that.

Determining the required variables, Eq. (2) will determine how much electricity a single car on average would need. By multiplying that value by the number of light-duty cars in Scotland, the annual electricity required to power all the electric vehicles for a year can be determined.

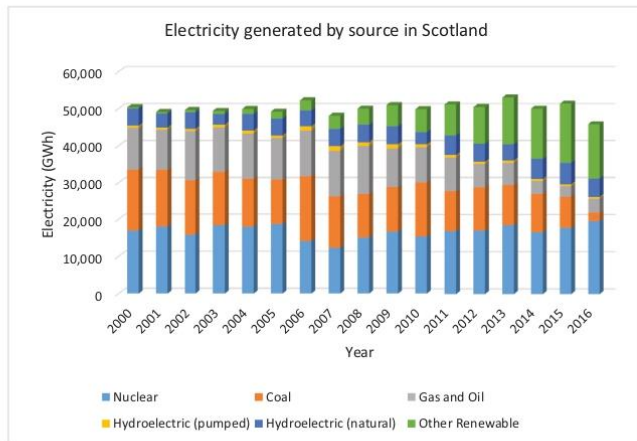


Fig. 1. Electricity produced by source between 2000 and 2016, figure reproduced based on data from reference [14].

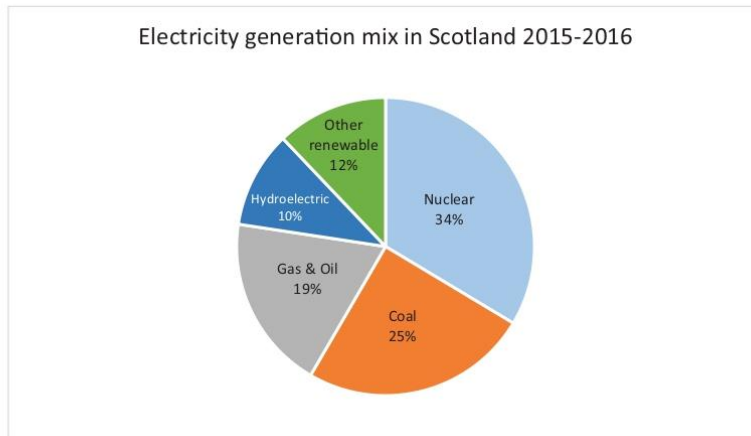


Fig. 2. Electricity generation mix of Scotland (2015), figure reproduced based on data from reference [14].

1.3. Traffic levels in Scotland

The average mileage per year of a vehicle in Scotland for the period 2015 – 2016 was roughly 11,362 km [17]. The number of vehicles in the Scottish fleet for the same period was estimated to be approximately 2240,000 [17]. According to data from Scottish traffic monitoring, approximately 80% of the fleet consists of light-duty vehicles [18]. According to this, it was estimated that light-duty cars produce roughly 3.6 Mt Carbon emissions per year [14].

Preferable car brands play an important role in the number of released greenhouse gases. Every conventional vehicle brand releases a different amount of carbon emission, and every electric car consumes a different amount of electricity, therefore, the emission from the electricity generation will vary. Research in the electric vehicles market in 2015 for the UK has revealed that among the most popular cars in this category were Nissan Leaf, BMW i3, Renault Zoe, Volkswagen e-UP, and Tesla Model S. Table 2 presents the top 5 registered electric and their specifications [19].

The same research has also been done for conventional light-duty cars, alongside their specifications, as shown in Table 3.

When comparing between winter and summer, the wasted heat from the internal consumption engine can be utilised to heat the passenger's

compartment and prevent condensation on the windscreens. However, electric cars will need to consume energy from the battery to provide thermal comfort for passengers during cold weather. And the faster the car, the more are the heat losses, hence reducing the range of the electric car [21]. The winter in Scotland tends to be consistent with very little variations in temperatures with an average minimum winter temperature of approximately 1 °C [22], see Fig. 3. This is expected to reduce the electric vehicles' range in winter.

1.4. Economics

From an economic perspective, the end-user is affected differently. The amount of money that a car driver is spending annually varies, depending on the type of vehicle, driven distance and driving conditions. Conventional cars require fuel whereas electric ones need electricity. The price of electricity and fuel is significantly different. The price of electricity and fuel varies depending on economic conditions. For the period between 2015 and 2016, that price was estimated to be around 12 pence per kWh of electricity [23]. For the same period, the price of a litre of fuel in the UK was approximately £1.3 [24]. Because Electric vehicles, plug-in EVs in particular, produce less than 50 gCO₂/km are considered emission-less [25]. For that reason, they are eligible to re-

A notable advantage that electric cars possess is their high efficiency in energy use. They also produce zero emissions at point of use, which contributes to considerable reduction of greenhouse gas emission from the transportation sector [4].

Despite the advantage of electric cars, widespread implantation of a fleet that consists mainly of EVs would lead to some challenges regarding the grid electricity generation system. Charging a high number of cars during peak hours could cause a considerable increase in electricity demand, leading to a significant overloading on the grid. A possible solution for that would be an adaptation of smart grid technology and demand management into the grid's infrastructure. This can be achieved by scheduling the charging processes accordingly with priority policies by recognising the vehicles with higher urgency of recharging. This would aid in flattening the demand curve and hence avoiding overloading the grid. Then, it is important to determine an appropriate charging rate (i.e. power consumption) for all electric cars that are connected to the grid [4].

The 2009 Climate Change Act for Scotland sets a target to decrease greenhouse gas emissions by 2050 to 80% compared to the emission levels in 1990. Five major steps were identified to achieve such goals [5]. These steps involve the reduction of fossil fuel usage and promoting the implementation of more renewable energy, which would help in reducing greenhouse gas levels. By 2016, Scotland has managed to introduce carbon capture and storage technologies. Also, the reduction of 12% in electricity demand has already been achieved. In addition, the country has closed the last operational coal power station shifting the electricity production to nuclear and renewables [5].

Even in places where the main source of electricity to charge electric cars is from fossil fuel, this would still have a positive impact on the environment. In an experimental case study to charge electric cars in Italy using electricity from fossil fuel, the amount of carbon emissions did not exceed the EU traffic limits of 100 g/km [6].

Some of the disadvantages of electric cars are the long charging times of the batteries, the relative short range of vehicles, and the high initial cost. The running cost of electric cars is considered to be lower compared to internal combustion engine cars, due to lower taxes the price difference between electricity and fossil fuel [7].

This paper suggests a novel approach which investigates a scenario where all conventional light-duty vehicles to be replaced by electric cars in Scotland. Vehicles and energy-related data from the years 2015–2016 is chosen for this paper's analysis. In order to properly investigate the situation, a literature review has been conducted regarding the electricity consumption in Scotland. Greenhouse gas emissions from energy generation and traffic pollution assuming the most popular cars among the gasoline/diesel and the electric technologies are estimated. The assessment of carbon emission when expanding renewable energy generation is also investigated. The paper also highlights a novel mathematical modelling and the implementation of infrared thermography to estimate energy losses in winter for electric cars and the effect on their travel range.

1.1. Brief description of conventional and electric vehicles

The amount of emissions released by conventional vehicles depends on the car's condition and how it is used. Those types of vehicles burn fuel to produce the energy which powers the engine. The fuel is drawn from the tank into one of the engine's cylinders. Each of the cylinders draws petrol/diesel in sequences together with the necessary quantity of air. The sparks, or pressure in case of diesel engines, ignite the mixture of fuel and air resulting in sudden expansion in volume within the engine's pistons causing them to move to produce the necessary motion. This motion from the pistons causes the driveshaft to be turned. The driveshaft then moves the axles via the gearbox, and as a consequence of that, the wheels of the car will rotate, producing the car's movement. The burnt fuel creates exhaust gases that are emitted into the atmosphere [8]. In 1870, the first internal combustion engine powered by

Table 1

Sources of electricity in Scotland and their Carbon Factor reproduced based on data from reference [16].

Source of electricity	Carbon Factor (gCO ₂ /kWh)
Nuclear	26
Coal	220
Gas	170
Hydro	7
Renewable	41.25

gasoline (petrol) was invented [9]. On the other hand, electric vehicles do not require chemical fuel. They require electricity to charge their batteries. The energy stored in the battery is utilised to power one or more electric motors via a controller. The electric motor is responsible for driving the vehicle's wheels. Some models have two motors placed on each axle of the car. Since electric vehicles do not use fossil fuels to be powered, they do not produce any emissions [10]. It is well known that at the end of the 19th century, electric cars were very common due to the simplicity of the technology. It has been observed that in 1899, 90 percent of taxi cabs in New York were electric [11]. Electric Vehicles (EVs) are considered to aid in reducing the levels of greenhouse gas emissions, particularly on busy roads. Oil as a resource is limited, and integrating electric cars will reduce the consumption of petroleum, increasing the time for its depletion and allowing other modes of transport, such as air and water to rely on oil. It has been suggested that the batteries on electric vehicles can be exploited as an additional grid storage system to store excess electrical energy to balance supply and demand [12]. Even though electric vehicles are eco-friendly, there are some challenges. One of them is the battery's low capacity, as well as its high cost. The small number of charging stations also poses a challenge at the moment. If more people start to use electric cars, the electricity demand from power stations will rise, hence contributing to greenhouse gas emissions unless more renewable or green energy resources are developed to replace coal, oil, and gas.

1.2. Electricity and carbon emission in Scotland

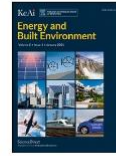
According to surveys in the monitoring of greenhouse gas (GHG) levels by the Scottish Government [13], about 20% of the greenhouse emissions are from conventional cars. Approximately 97% of the greenhouse gases are represented by carbon dioxide and a small amount by nitrous oxides, methane, and fluorinated gases [13].

Annually the electricity consumption in Scotland is approximately 38,000 GWh. The country produces on average 50,000 GWh of electricity and the amount that is not consumed locally is exported to England and Northern Ireland [14]. Fig. 1 presents the electricity generated, by source, between 2000 and 2016 and Fig. 2 shows the energy mix in Scotland in 2015–2016.

It has to be mentioned that when electricity is generated and distributed, there are losses through the grid, and Scotland is not an exception; the losses of the grid for the country are estimated to be approximately 17% [15].

Each source of electricity emits a different amount of carbon dioxide per unit of energy produced. The term used to describe this carbon footprint of the source of electricity is called the Carbon Factor. The unit of carbon factor is gCO₂/kWh. Table 1 presents the Carbon Factor for each energy source.

Taking into consideration the generation mix for the period 2015–2016, the carbon emissions from the electricity generation are estimated to be approximately 5 MtCO₂/year [14]. Depending on the generation mix, the number of emissions would vary. A high number of countries are focusing on building new nuclear power stations and utilising more renewable resources to reduce carbon emission and air pollution.



The environmental and financial implications of expanding the use of electric cars - A Case study of Scotland

George Milev^a, Astley Hastings^b, Amin Al-Habaibeh^{a,*}

^a Nottingham Trent University, UK

^b University of Aberdeen, UK

ARTICLE INFO

Keywords:

Electric
Cars
Vehicles
Environment
Emissions
Carbon
Scotland
Energy

ABSTRACT

This paper investigates the expansion of electric cars and their impact on the environment and the user; assuming a future scenario where all of the light-duty vehicles that use an internal combustion engine will be replaced by electric cars in Scotland. The idea is to investigate the impact on the environment and the financial effect on the user. The methodology is based on analysing the most common electric and conventional vehicles to estimate the amount of additional electricity that would be needed to charge that expansion. The paper has also looked at the running costs. The results show that approximately 4 GWh per annum of additional electricity will be needed to compensate for such growth in electricity demand. With the rise in electricity production, the amount of carbon emissions from the electrical grid is expected to increase slightly by 0.47 megatons CO₂ per annum. Given that the carbon dioxide generated by the light internal combustion vehicles at the moment is 3.6 megatons of CO₂ per year, it is concluded that the total amount of greenhouse gases from the electricity grid will decrease by circa 33.7% if all conventional cars in Scotland are replaced by electric cars. The initial cost of an electric car is found to be higher than conventional diesel or petrol one, but in the long term, the cost to power an electric vehicle is expected to be much cheaper. However, electric cars still have their own drawbacks as they need significant time to be charged, and will consume significant energy for heating the interior and windscreens to prevent condensation in cold weather leading to an estimated reduction in range of approximately 28% in some situations.

1. Introduction

The world population has been increasing dramatically over the past few decades. With the growing population comes an increase in the number of vehicles and therefore the growth of greenhouse gases released from traffic. To mitigate that challenge, scientists and engineers are continuously working to improve conventional vehicles to enhance their performance of using less fuel and hence releasing fewer greenhouse gases to the atmosphere. Another solution on the horizon, and expanding rapidly, is the development of electric cars. Electric vehicles do not release any emissions, they require electricity to run and are considered by many as an eco-friendly solution for the ever-growing demand for more vehicles and more fuel. It is also a way to resolve the growing greenhouse gas and pollution levels in the atmosphere released from traffic. Other alternatives to conventional vehicles are hybrid cars and hydrogen fuel cell vehicles.

It has been estimated that the global social cost for air pollution associated with combustion engines is about 3 trillion dollars per year [1].

The increase in carbon emission not only contributes to poor air quality, but also to an increase in global temperatures; which influences the climate. In 2016, a new record has been set regarding the increase of global temperatures, which led to about 1 °Celsius rise compared to the 20th-century average temperature [2]. The Paris Agreement on Climate change provides the possibility for each country in the world to move forward in decreasing its greenhouse gas levels towards enhancing air quality. Investigating the reduction in greenhouse gas emissions by electrifying transportation is essential, as more than 55 countries emit more than half of the global emissions [1].

The availability of fossil fuel, particularly oil, is not sustainable; hence integrating electric cars and enhancing the use of renewable energy would extend the time of oil's availability, allowing other types of transport such as airplanes and ships to utilise the available resources. Moreover, the batteries of electric vehicles can be exploited as an additional grid storage reserve, where excess renewable energy can be stored and balance the variation in electricity demand. These reserves could also be utilised in emergencies or during unforeseen blackouts [3].

* Corresponding author.

E-mail address: Amin.Al-Habaibeh@ntu.ac.uk (A. Al-Habaibeh).

<https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.07.005>

Available online 12 August 2020

2666-1233/Copyright © 2020 Southwest Jiatong University. Publishing services by Elsevier B.V. on behalf of KeAi Communication Co. Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

References

- [1] L. Erickson, Reducing greenhouse gas emissions and improving air quality: two global challenges, *Environ. Prog. Sustain Energy* 36 (4) (2017) 982–988.
- [2] NOAA State of the climate: Global Analysis For Annual 2016, NOAA National Centers for Environmental Information, Washington, DC, 2017 www.ncei.noaa.gov/.
- [3] Amoroso, F.A. (2014) Eco-Friendly Innovation in Electricity Transmission and Distribution Networks.
- [4] Z.-H. Zhu, Z.-Y. Gao, J.-F. Zheng, H.-M. Du, Charging station location problem of plug-in electric vehicles, *J. Transp. Geogr.* 52 (2016) 11–22, doi:10.1016/j.jtrangeo.2016.02.002.
- [5] Deben, L. et al. "Reducing Emissions In Scotland". Committee on Climate Change 2015 Progress Report (2015): 9-30; 42–49.
- [6] T. Donato, et al., Evaluation of emissions Of CO₂ and air pollutants from electric vehicles In Italian cities, *Appl. Energy* 157 (2015) 675–687.
- [7] M. Aziz, T. Oda, M. Ito, Battery-assisted charging system for simultaneous charging of electric vehicles, *Energy* 100 (2016) 82–90, doi:10.1016/j.energy.2016.01.069.
- [8] Stefansson, J. "What Makes the Wheels Move on a Car?" *sciencing.com*, <https://sciencing.com/wheels-move-car-6302814.html>. 29 October 2019.
- [9] E. Eckermann, in: *World History of the Automobile*, SAE Press, 2001, p. 14.
- [10] Moss, D. (2019). How do Electric Cars Work?. [online] What Car?. Available at: <https://www.whatcar.com/advice/buying/how-do-electric-cars-work/n18091> [Accessed 29 Oct. 2019].
- [11] D. Hiskey, In 1899 Ninety Percent of New York City's Taxi Cabs Were Electric Vehicles, 2011 [online] Today I Found Out. Available at: <https://www.todayifoundout.com/index.php/2011/04/in-1899-ninety-percent-of-new-york-citys-taxi-cabs-were-electric-vehicles/> [Accessed 20 May 2019].
- [12] Amoroso, F.A. (2014) Eco-Friendly innovation in electricity transmission and distribution networks. Available at: http://ac.els-cdn.com/S09781782420101000173/3-s2.0-B9781782420101000173-main.pdf?tid=8ec36222-150e-11e6-b1da-00000aacb360&acdnat=1462706475_6f2dc0e2e96f63589282373fc7937dd3 [Accessed 29 Oct. 2019].
- [13] Scottish Greenhouse Gas Emissions (2013). Gov.scot. N.p., 2016. Web. [Accessed 29 Oct. 2019].
- [14] "Energy - Electricity Generation". Gov.scot. N.p., (2016). Web. Accessed [29.10.2019].
- [15] "Energy In Scotland 2015". Gov.scot. N.p., (2016). Web. [Accessed 29 Oct. 2019].
- [16] House of Parliament, in: Carbon Footprint of Electricity Generation, Parliamentary Office of Science & Technology. [online] London: House of Parliament, 2011, pp. 1–4. Available at: https://www.parliament.uk/documents/post/postpn_383-carbon-footprint-electricity-generation.pdf, [Accessed 29 Oct. 2019].
- [17] Transport Scotland (2014) Table 1: basic travel statistics – national travel survey: <http://www.transport.gov.scot/statistics/j314725-05.htm> [Accessed 29 Oct. 2019].
- [18] Transport Scotland (2016) Chapter 5: road traffic. Available at: <http://www.transport.gov.scot/statistics/j357783-08.htm> [Accessed: 29 Oct. 2019].
- [19] Lane, B. (2016) Quick links. Available at: <http://www.nextgreencar.com/electric-cars/statistics/> [Accessed 29 Oct. 2019].
- [20] Top 6 conventional cars, their price, and carbon factor: <https://www.autoexpress.co.uk/best-cars/90327/best-selling-cars-2015-record-year-for-uk-car-sales> [Accessed 29 Oct. 2019].
- [21] Zart, N. (2019). Yes, Electric Vehicles Work In Winter — Better Than Gas Cars! | CleanTechnica. [online] CleanTechnica. Available at: <https://cleantechnica.com/2019/02/17/yes-electric-vehicles-work-in-winter-better-than-gas-cars/> [Accessed 18 Nov. 2019].
- [22] Scotland Info Guide. (2019). Scotland Weather and Climate. [online] Available at: <https://www.scotlandinfo.eu/scotland-weather-and-climate/> [Accessed 18 Nov. 2019].
- [23] Electricity price in the UK - https://www.ukpower.co.uk/home_energy/tariffs-per-unit-kwh [Accessed 29 Oct. 2019].
- [24] Price of fuel in the UK between 2015 and 2019 <https://www.statista.com/statistics/299552/average-price-of-diesel-in-the-united-kingdom/> [Accessed 30 Oct. 2019].
- [25] GOV.UK. (2019). Low-emission vehicles eligible for a plug-in grant. [online] Available at: <https://www.gov.uk/plug-in-car-van-grants> [Accessed 8 Nov. 2019].
- [26] Fueleconomy.gov. (2019). Frequently Asked Questions. [online] Available at: <https://www.fueleconomy.gov/feg/info.shtml#sizeclasses> [Accessed 22 Nov. 2019].
- [27] A. AL-HABAIBEH, G. ANDERSON, K. DAMJI, G. JONES, K. LAM, Using infrared thermography for monitoring thermal efficiency of buildings - case studies from Nottingham Trent University, in: Proceedings of the Seventh Jordanian International Mechanical Engineering Conference (JIMEC7), Amman, Jordan, 27-29 September 2010, 2010.
- [28] Engineeringtoolbox.com. n.d. *Emissivity Coefficients Materials*. [online] Available at: https://www.engineeringtoolbox.com/emissivity-coefficients-d_447.html > [Accessed 30 June 2020].
- [29] Jackson, L. (2008). Why There Won't Be a Solar Powered Car - Washington Times. [online] Washington Times. Available at: <https://www.washingtontimes.com/blog/spinning-wheels-community-car-lovers/2008/jul/26/why-there-wont-be-a-solar-powered-car/> [Accessed 22 Nov. 2019].
- [30] Wind Europe. 2020. Economics | Windeurope. [online] Available at: <https://windeurope.org/policy/topics/economics/#:~:text=Unsubsidized%20onshore%20wind%20energy%20is,%20FMWh%20in%20H1%202018> [Accessed 1 July 2020].
- [31] Carrington, D., 2016. *Electric Cars 'Will Be Cheaper Than Conventional Vehicles By 2022'* [online] the Guardian. Available at: <https://www.theguardian.com/environment/2016/feb/25/electric-cars-will-be-cheaper-than-conventional-vehicles-by-2022> [Accessed 30 June 2020].
- [32] Pod-point.com. (2019). Road Tax on Electric Cars | Pod Point. [online] Available at: <https://pod-point.com/guides/driver/road-tax-on-electric-cars> [Accessed 11 Nov. 2019].
- [33] Knupfer, S., Noffsinger, J. and Sahdev, S. (2019). How Battery Storage Can Help Charge the Electric-Vehicle Market. [online] McKinsey & Company. Available at: <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/how-battery-storage-can-help-charge-the-electric-vehicle-market> [Accessed 11 Nov. 2019].
- [34] Macalister, T. (2016). Longannet Power Station Closes Ending Coal Power Use in Scotland. [online] the Guardian. Available at: <https://www.theguardian.com/environment/2016/mar/24/longannet-power-station-closes-coal-power-scotland> [Accessed 8 Nov. 2019].
- [35] L. Erickson, G. Brase, Reducing Greenhouse Gas Emissions And Improving Air Quality. Two Interrelated Global Challenges, 1st ed., CRC Press, 2019.
- [36] K. Holmberg, A. Erdemir, The impact of tribology on energy use and CO₂ emission globally and in combustion engine and electric cars, *Tribol. Int.* 135 (2019) (2019) 389–396 Pages.