UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



REVISTA INDUSTRIAL 4.0

EDICIÓN DIGITAL Nro. 5 NOVIEMBRE 2022 Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería Industrial

M.Sc. Oscar Arnaldo Heredia Vargas

Dra. María Eugenia García Moreno

Ing. Alejandro Mayori Machicao

Ing. Freddy Gutierrez Barea

Ing. Franz Zenteno Benitez

Revista Industrial 4.0

Edición Impresa Nº. 5 - Noviembre 2022

Impresa ISSN 2958-017X

En Linea ISSN-L 2958-0188

Comite Editor:

Ing. Fernando Sanabria Camacho

Ing. Grover Sanchez Eid

Ing. Mario Zenteno Benitez

Diseño Versión Impresa & web:

Ing. Enrique Orosco Crespo

Imagen Tapa:

shutterstock//588546479

Imprenta:

Walking Graf

Deposito Legal:

4-3-68-20

Web:

https://industrial.umsa.bo/revistaindustrial-40

Email:

revistaindustrial4.0@umsa.bo

Av. Mcal. Santa Cruz N° 1175, Plaza del Obelisco

Mezzanine, Edificio Facultad de Ingeniería

TEI. 2205000-2205067, Int. 1402

Rector

Vicerrector

Decano Facultad de Ingeniería

ViceDecano Facultad de Ingeniería

Director de Carrera Ingenieria Industrial

nterne



PRESENTACIÓN



Ing. MBA. Franz José Zenteno Benitez

DIRECTOR INGENIERÍA INDUSTRIAL

La visión integral que tiene la ingeniería industrial permite que investigadores de diferentes áreas del conocimiento puedan contar con la Revista Industrial 4.0 como una alternativa para publicar sus trabajos de investigación.

El aprovechamiento adecuado de los recursos naturales, como es el caso actual del litio, para evitar los errores históricos que tuvo el país en la explotación de la plata, la goma, el estaño y el gas natural, deben ser debatidos en todos los niveles de la sociedad boliviana.

Somos testigos de los estragos que causa el aceleramiento del calentamiento global; se trabaja en realizar estudios para para su medición y reducción, actividades que efectúan investigadores bolivianos y que presentan propuestas y alternativas para una disminución.

Procesos productivos como ser el procesamiento de alimentos, industria del cemento, automatización y confección de ropa; la propuesta de un parque científico tecnológico para la Facultad de Ingeniería en el Campus de Cota Cota y el comercio virtual son abordados en el presente número.

Un agradecimiento a los miembros del Comité Editor por su trabajo desinteresado, ético y profesional en la revisión y selección de los trabajos que se presenta para su consideración.

Seguimos dando pasos seguros en la consolidación de la Revista Industrial 4.0, este quinto número cuenta con el Número Internacional Normalizado de Publicaciones Seriadas (ISSN) en sus versión impresa y digital. Un reconocimiento especial por el apoyo recibido por parte de la Dirección y Personal de la Biblioteca Central de la Universidad Mayor de San Andrés para la obtención de la codificación antes mencionada.

Destacar el gran apoyo que brinda el personal administrativo de la carrera de Ingeniería Industrial, independiente del área al que pertenece, para que se pueda publicar por más de dos años ininterrumpidos la presente revista.



ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA VIABILIDAD EL VEHÍCULO ELÉCTRICO EN LA CIUDAD DE LA PAZ

Ing. Juan Manuel Vargas Jurado ORCID: 0000-0001-6516-4856 Ing. Juan Carlos Ignacio Garzón

Recibido: 4 de octubre; aprobado: 14 de noviembre

RESUMEN

El estudio tiene por objetivo general determinar a través de un modelo estimativo de Montecarlo el impacto económico financiero y ambiental de una población de vehículos eléctricos en el parque automotor de la ciudad de La Paz conociendo así el impacto a nivel Estatal por la posible reducción de los costos de subvención de carburantes, a nivel empresarial por la oportunidad de inversión en estaciones de recarga, el beneficio para el usuario por la reducción de los costes de operación y mantenimiento y el impacto en el medio ambiente por la disminución de emisiones de dióxido de carbono. El modelo en su primera etapa recopila información primaria y secundaria para determina un perfil de usuario de movilidad y calcula variables intermedias como las demandas de energía y los costos asociados a la operación de un vehículo eléctrico entre la más importantes. Una vez determinadas estas variables y con la ayuda de pronósticos y proyecciones futuras se determinan estos impactos en el horizonte temporal 2030.

ABSTRACT

The main goal of this study is to determine, by means of an estimation model, the economic, financial and environmental impact of a population of electric vehicles in the La Paz vehicle feet. considering the positive effects that this incorporation of vehicles would bring in four fundamental areas raised as: The impact at the State level due to the possible reduction in subsidy costs, at the business level due to the opportunity to invest in recharging stations, the benefit for the user due to the reduction in operation and maintenance costs and the positive impact on the environment by reducing emissions of carbon dioxide.

Artículo Reg. 041 Revista Industrial 4.0, Año 3 N°5, 2022 industrial.umsa.bo/revistaindustrial-40

revistaindustrial4.0@umsa.bo

The Montecarlo estimation model collects primary and secondary information that defines a mobility user profile and calculates different output variables, among which the most important are the energy demands and the costs associated with these. Once these intermediate variables have been determined and also forecasts and projections too, it will be possible to evaluate these impacts for future periods of time.

Palabras Clave

VE: Vehículo Eléctrico de Baterías

KVR: Kilómetros Vehículo Recorridos

HEV: Vehículo Eléctrico Hibrido

VC: Vehículo de Combustión Interna

CR: Carga Normal
CN: Carga Rápida

1 Introducción

En la actualidad Bolivia depende casi en cien por ciento de los combustibles fósiles para abastecer la demanda de energía en el sector del autotransporte siendo este el mayor consumidor a nivel nacional. Además de esto hay que sumar que el Estado importa y subvenciona combustibles como la gasolina y diésel en grandes cantidades ya que la demanda del sector sobrepasa la producción interna. (Instituto Nacional de Estadística, 2022). Por otro lado la contaminación atmosférica es uno de los problemas ambientales que más afecta a los centros urbanos de países en desarrollo como Bolivia. El nivel de contaminación del aire al que estamos expuestos sobre todo en ciudades como La Paz, Cochabamba y Santa Cruz se debe en mayor parte a las emisiones del parque vehicular que es la principal fuente de emisiones contaminantes del aire, sobre todo en cuanto a óxidos de nitrógeno y carbono. (Pareja, Hinojosa, & Lujan, 2011)

2 Alcance

Este proyecto pretende evaluar la viabilidad de los vehículos eléctricos en el parque automotor de la ciudad de La Paz cuantificando el posible beneficio económico para el Estado, el municipio, el consumidor y el empresario que invierta en la instalación de estaciones de recarga, además de los efectos en la disminución de contaminación del medio ambiente.

3 Desarrollo

Para la construcción del modelo se ha realizado una encuesta y medición de KVR. La encuesta mide el grado de aceptación del VE en la ciudad de La Paz, mientras que la medición de KVR se realizó a través de una lectura de odómetro (Góngora Perez, 2012). Estos datos junto con las proyecciones futuras de otras variables servirán para determinar los indicadores necesarios al momento de establecer un modelo de movilidad eléctrica en el horizonte temporal. Statista. (2021). Los usuarios que se han encuestado son propietarios de vehículos particulares tipo vagoneta, camionetas, automóvil y jeep que por lo general realizan desplazamientos dentro del área Metropolitana de la ciudad de La Paz y se acomodan al modelo de VE que se está estableciendo en el mundo. (International Energy Agency, 2020)

Los resultados de la medición de KVR nos dicen que el usuario de tipo particular en promedio recorre por año 9.690 km con una desviación estándar de 4.220. Estos datos se ajustan mejor a una distribución Gamma con valores de forma igual a 5,2 y escala 0,000537 y cuyo histograma de frecuencia se ve en la **Figura 2.1**. De igual manera el promedio de kilómetros que recorre el vehículo en un día se ajusta mejor a una distribución Gamma con media 40,38 km y desviación estándar igual a 17,58. Los valores de forma y escala son 5,2 y 0,12 respectivamente.

3.1 Simulación Consumo Diario de Energía del VE

Para elaborar el modelo de consumo de energía diario de la población de VE según Sterman, J. D. (2000) es necesario contar con información precisa y actual del parque automotor. Se ha tomado en cuenta los datos que provienen de la encuesta a la Movilidad Urbana del Municipio de La Paz realizada en 2014 para construir la que llamamos matriz de movilidad, datos técnicos propios del vehículo que denominamos matriz de VE y VC respectivamente y una matriz de carga del VE que estará construida en función al patrón de comportamiento del usuario y una serie de supuestos. El esquema general de este simulador se ve en la **Figura 2.2**.

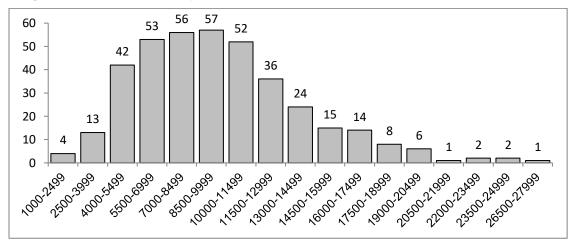
El modelo básicamente asigna a cada usuario, por medio de un numero aleatorio, un KVR diario. Si el valor de KVR es mayor a 60 km el usuario es de tipo independiente es decir que realiza mayor número de desplazamientos por día, pero



si es menor a 60 es clasificado como usuario dependiente (encuesta y medición de KVR 2020). (Gadea Capiscol, 2015)

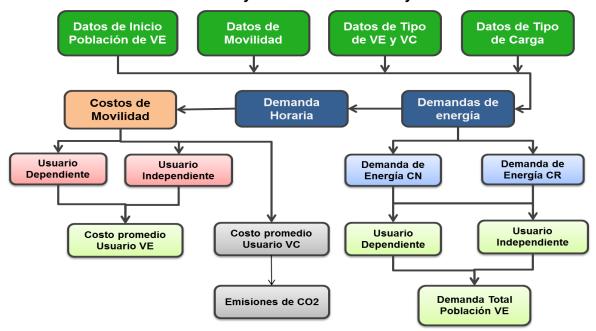
Figura 3-1

Histograma de Frecuencias para KVR anual



Fuente: Elaboración propia en base a lectura de odómetro. Tabla A1. Anexos

Figura 3-2
Estructura General del Simulador y Variables de Entrada y Salida



Fuente: Elaborado con base en (Gadea Capiscol, 2015)

Por lo general un usuario de tipo dependiente realiza recorridos diarios por motivos de compras, para ir al trabajo y retorno a domicilio, mientras que el de tipo independiente necesita desplazarse con mayor frecuencia por motivos de abastecimiento de negocios propios, visita a clientes, etc. lo que le daría el carácter de vehículo utilitario liviano.

Una vez asignado un KVR y número de desplazamientos, se le asignan las demás variables también de forma aleatoria, entre las más importantes están: el nivel de batería (%) con el que inicia su jornada, la capacidad de la batería (kWh) y el rendimiento (kWh/km) con lo que se completa la asignación que proviene de la matriz de VE. Como ejemplo vemos en la **Tabla 2.1** la asignación de estos valores en el simulador.

Luego de asignar a cada usuario los datos iniciales, se da lugar al primer recorrido o desplazamiento con una distancia igual al cociente entre KVR y el número de desplazamientos (Dependiente entre 2-4; Independiente entre 5-8), cada fila representa un usuario en la hoja de cálculo de manera que al final del día se puedan acumular las variables de salida que se requieren. Una vez realizado el primer recorrido se hace la pregunta lógica de si es necesaria la recarga de la batería en función a un Tiempo de Parada (para el tipo Dependiente entre 90 y 180 min, Independiente entre 15 a 90 min) que se asigna también de forma aleatoria. Las posibles situaciones de carga se explican de la siguiente forma:

Tabla 3.1

Datos Iniciales Simulador de Consumo Diario de Energía

| | | Variables | de Tipo de l | Movilidad | Variables Tipo de VE | | | | | |
|--------------------|--------------------|-----------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------|---------------------|--|--|
| Valor Aleatorio | KVR día (km) | Tipo Usuario | Numero Desplaza mientos | Nivel Batería Inicial (%) | Capacidad Batería (kWh) | Rendimiento (kWh/km) | Modelo de VE | TCN 10% (min) | | |
| 0,3901 | 33,27 | Dependiente | 4 | 73 | 32 | 0,176 | BYD e1 | 38,4 | | |
| 0,2597 | 27,89 | Dependiente | 2 | 77 | 52 | 0,163 | Renault Zoe | 42,2 | | |
| 0,8111 | 54,91 | Dependiente | 3 | 79 | 22 | 0,170 | FIAT | 17,8 | | |

Nota: **TCN**: Tiempo en minutos que demora cargar el 10% de la capacidad de la batería en Carga Normal. **Desplazamientos**: Si es del tipo Dependiente (2 a 4) Independiente (5 a 8). **Nivel Inicial de Batería**: si es Independiente (80 a 90%), Dependiente (70 a 80%)

Fuente: Elaborado en base a descripción del simulador

 Tiempo Parada > Tiempo Carga10% y Nivel Batería entre 40-60%. El usuario dispone de tiempo aceptable para la carga de su vehículo y un nivel de batería también aceptable. Pero considerando que en todo momento los

Artículo Reg. 041 Revista Industrial 4.0, Año 3 Nº5, 2022 industrial.umsa.bo/revistaindustrial-40 revistaindustrial4.0@umsa.bo

usuarios dispongan de conexión a la red y la llamada ansiedad de carga se procederá a la carga normal.

- 2. Tiempo Parada < Tiempo Carga10% y Nivel Batería < 40%. Se presenta una situación de urgencia o crítica, por lo que se selecciona la realización de una carga en modo rápido.
- 3. Tiempo Parada < Tiempo Carga 10% y Nivel Batería > 60%. El usuario dispone de tiempo muy limitado para la carga y un nivel de batería más que aceptable para asegurar la autonomía. Dada esta situación, se asume que el usuario no realizará carga durante la parada.
- 4. Tiempo Parada > 2* Tiempo Carga 10% y Nivel Batería < 40%. El usuario tendría la necesidad de carga rápida por el nivel de batería crítico pero solo si su tiempo de parada es el doble del tiempo de carga del 10% optará por la carga normal.</p>

Hasta este punto es posible determinar si el usuario requirió de CR o de CN después de haberse producido un consumo de energía por el desplazamiento que se realizó. **Tabla 2.2**. El procedimiento se repite para 1000 usuarios y se hicieron a su vez mil pruebas con la ayuda de una macro en la hoja de cálculo de Excel. Para determinar los costos de operación de ambas opciones de vehículos se han utilizado las tarifas Transitorias para Estaciones de Recarga para VE determinada por la (AETN 2021) y los precios de la gasolina según la ANH 2021. Los resultados más importantes de esta simulación se ven en la **Tabla 2.3**

Tabla 3.2

Consumo de Energía y Decisión de Carga del Usuario de VE

| Longitud D1 (km) | Consumo 1(kWh) | T Par 1 (min) | Nivel Batería | Carga?? | Dem CN (kWh) | Dem CR (kWh) |
|---------------------|-------------------|------------------|------------------|---------|-----------------|-----------------|
| 25,43 | 4,32 | 133 | 51 | CN | 2,20 | 0 |
| 19,62 | 2,88 | 141 | 72 | 0 | 0,00 | 0 |

Fuente: Elaborado con base en descripción del simulador.

Tabla 3.3

Datos de Salida Simulador de Consumo Diario de Energía

| Variable | Valor | UNIDADES | MEDIA | DESV. | MAX | MIN |
|---------------------|--------|------------|--------|-------|--------|--------|
| KVR UDep | 35,4 | km | 35,21 | 0,44 | 35,72 | 34,29 |
| KVR UInd. | 71,3 | km | 73,29 | 1,63 | 76,93 | 71,07 |
| Demanda Sistema | 6790 | kWh | 6799 | 111 | 6946 | 6581 |
| Rendimiento VE | 16,11 | kWh/100 km | 16,08 | 0,04 | 16,12 | 15,99 |
| Rendimiento VC | 7,15 | L/100 km | 7,20 | 0,05 | 7,27 | 7,10 |
| Emisiones de CO2 | 174,34 | g CO2/km | 176,28 | 1,91 | 179,08 | 172,41 |
| Costo Operación UVE | 10,66 | Bs/100 km | 10,60 | 0,32 | 11,07 | 9,97 |
| Costo Operación UVC | 28,61 | Bs/100 km | 29,01 | 29,01 | 29,46 | 28,50 |

Fuente: Elaborado con base a resultados del simulador.

Una vez conocida la demanda de energía total del sistema es posible construir una curva de demanda horaria con la ayuda de las probabilidades de desplazamiento horario del Transporte Publico en el Municipio de La Paz ya que no se cuenta con un estudio de patrones de comportamiento del parque automotor de tipo particular. Se ha supuesto que el usuario realiza la carga de su vehículo con mayor probabilidad en horas valle, es decir cuando el vehículo está aparcado en su lugar de origen. Estas probabilidades que se obtuvieron del simulador en su primera parte son: 58% en horas valle, 37% en carga normal y 5% en carga rápida. No se ha considerado la carga en horas punta ya que de ser así se alcanzarían picos de potencia que sería perjudicial para la red eléctrica. Figura 2.3.



Figura 3-3 Demanda Horaria Según Tipo de Usuario de VE en kWh

Fuente: Elaborado con base en simulador y (Gobierno Autonomo Municipal de La Paz, 2014)

Una vez que se cuentan con las variables intermedias necesarias, se procede a la construcción del modelo de VE que se ha propuesto en el horizonte 2030. Las proyecciones de estas variables como la demanda de energía eléctrica, el crecimiento del parque automotor, la evolución del precio del VE y otras más se han realizado utilizando métodos de pronósticos de series de tiempo, regresión simple, polinomial y ajuste de curvas por mínimos cuadrados.(ver anexos Tabla 2)

3.2 Simulador Población de VE en el Horizonte 2030

El punto de partida para estimar el número de VE que podrían incorporarse en los años venideros parte de la encuesta realizada en la medición de KVR para la ciudad de La Paz donde se determinó que de 100 encuestados 64 optarían por comprar un vehículo totalmente eléctrico pero con algún tipo de ayuda o incentivo y tan solo un poco más de 3,5 % estaría dispuesto a pagar un poco más de 20 mil USD por la compra de un VE. Entonces ya que el rango de precios de la opción eléctrica está entre los 20 y 30 mil USD. Estos 3,5 % de posibles ventas no están lejos de los valores alcanzados en el mundo en 2020 con 4,6%. (International Energy Agency, 2021). Por tanto este será el escenario probable que se pretende alcanzar en stock acumulado como población meta de VE hasta el año 2030 junto con otros dos que se proponen a continuación.

| | Pesimista | Probable | Optimista |
|-----------------|-----------|----------|-----------|
| Stock acumulado | 1 % | 35% | 7 50 % |

En la **Tabla 2.4** se resumen las variables de entrada del simulador de Población de VE en el horizonte 2030, junto con los parámetros estadísticos que se usaron para determinar los pronósticos. Se ha definido la mayor parte de estas variables como distribuciones normales con desviación estándar igual al error estándar de estimación, lo que permite definirla correctamente en Cristal Ball del Excel como una suposición.

De manera similar se resumen en las **Tablas 2.5 y 2.6** las variables y parámetros para evaluar el impacto de la población del VE a nivel Empresarial y posible beneficio para el Usuario de VE. La variable más importante es el indicador KVR y las restantes se han extraído del primer simulador. Las variables de decisión, como en el caso del primer simulador, son las tarifas de electricidad, costos de cargadores, precios actuales de VC y VE además de los precios de la gasolina.

Tabla 3.4

Resumen de Variables de Entrada Evaluación Económica

| Variables Entrada | Función | Α | В | С | EEE |
|---|--------------|--------------|------------|-----------|----------|
| Bolivia. Crecimiento parque automotor | Y=A+BX | -205.773.999 | 102.895 | | 19.536 |
| La Paz. Crecimiento parque automotor | Y=A+BX | -44864300 | 22.453 | | 5.020 |
| Mejora de Rendimiento VC | Y=A+BX | 312,821 | -0,1528 | | 0,1061 |
| Emisiones vehiculares | Y=A+BX | 767,5540 | -0,3750 | | 0,2897 |
| Cuota Mercado Vehículo Eléctrico (%) | Y=A*X^B | 0,001457 | 2,5568 | | 0,0257 |
| Bolivia. Demanda Energía SIN y SA (GWh) | Y=A+BX+CX^2 | 1.837 | 104,55 | 4,6634 | 262,95 |
| La Paz. Demanda Energía DELAPAZ (GWh) | Y=A+BX | -86.977.300 | 43.908 | | 49.618 |
| | Distribución | Forma | Escala | Ubicación | Escala |
| KVR anual (km) | Gamma | 6,228 | 1684,70 | 87,13 | 0,000594 |
| | Distribución | Media | Desviación | | EEE |
| Rendimiento VC (L/100 km) | Normal | 7,2 | 0,054 | | 0,163 |
| Rendimiento VE (kWh/100 km) | Normal | 16,07 | 0,031 | | 0,433 |

Fuente: Elaboración propia con base a explicación simulador

Tabla 3.5
Variables de Entrada Evaluación a Nivel Empresarial

| VARIABLES ENTRADA | Función | Α | В | С | EEE |
|--|-------------|--------------|------------|---|-----------|
| Bolivia. Crecimiento del parque automotor | Y=A+BX | -205.773.999 | 102.895 | | 19.536 |
| La Paz. Crecimiento del parque automotor | Y=A+BX | -44864300 | 22.453 | | 5.020 |
| Cuota de mercado de Vehículo Eléctrico (%) | Y=A*X^B | 0,001457 | 2,1453 | | 0,0257 |
| | Función | Alfa/forma | Escala | | Ubicación |
| KVR anual (km) | Gamma | 6,228 | 1684,70 | | 87,13 |
| | Función | Media | Desviación | | EEE |
| Rendimiento VE (kWh/100 km) | Normal | 16,07 | 0,031 | | 0,433 |
| Número de estaciones de Recarga Normal | 1 por cada | 20 | vehículos | | |
| Número de estaciones de Recarga Rápida | 1 por cada | 100 | vehículos | | |
| | | Horas | punta | | |
| Demanda de energía por tipo y horario | Horas Valle | CN | CR | | |
| (datos obtenidos simulador 1) | 58,0% | 38,0% | 4,0% | | |

Fuente: Elaboración propia con base a explicación simulador

Tabla 3.6
Variables de Entrada Evaluación Usuario de VE

| VARIABLES MODELO | Distribución | Alfa/forma | Escala | Ubicación |
|---------------------------------|--------------|------------|------------|-----------|
| KVR anual (Km) | Gamma | 6,228 | 1684,70 | 87,13 |
| | Distribución | Media | Desviación | EEE |
| Rendimiento VC (L/100 km) | Normal | 7,2 | 0,054 | 0,074 |
| Rendimiento VE (kWh/100 km) | Normal | 16,07 | 0,031 | 0,433 |
| | Costo VC | Prob | KVR inf | KVR sup |
| | 539 | 0,0660 | 1300 | 5.000 |
| | 1290 | 0,4402 | 5.000 | 10.000 |
| Costos de mantenimiento VC (Bs) | 1956 | 0,3533 | 10.000 | 15.000 |
| | 3165 | 0,1136 | 15.000 | 20.000 |
| | 3704 | 0,0229 | 20.000 | 25.000 |
| | 4867 | 0,0039 | 25.000 | 40.000 |
| | 314 | 0,4938 | 1.300 | 10.000 |
| Costos de Mantenimiento VE (Bs) | 853 | 0,4669 | 10.000 | 20.000 |
| | 1312 | 0,0263 | 20.000 | 30.000 |
| | 2500 | 0,0129 | 30.000 | 40.000 |

Fuente: Elaboración propia con base a explicación simulador

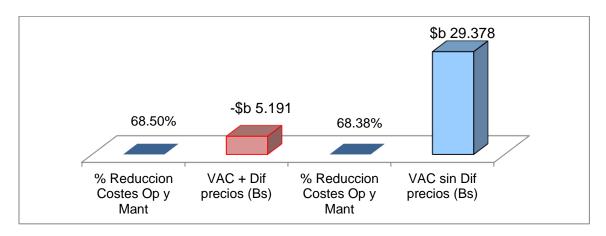
El número de pruebas que se han realizado para la simulación de Población a 2030 son de 10 mil y los resultados de la evaluación económica a nivel de Usuario de VE es decir aquel que escoja la opción eléctrica son: Un ahorro en costes de operación y mantenimiento en valor actual de costes igual a 29.378 bolivianos (4100 USD) o un 68%. Es decir que si la diferencia de precios entre ambas opciones de vehículos superan los 4.100 dólares hoy entonces lo que se ahorraría en mantenimiento y operación en el futuro no justifican la compra de un VE. Pero si el precio del VE se reduce aún más, lo que se espera los próximos años, la opción eléctrica traería

Robotics

consigo sus beneficios económicos además de la reducción de emisiones de dióxido de carbono. **Figura 2.4**.

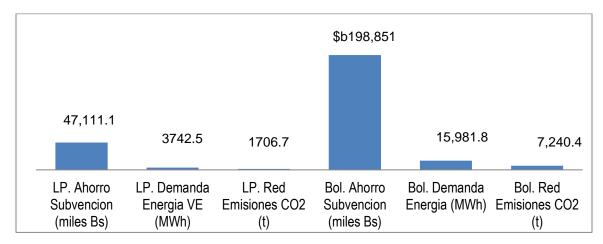
En la evaluación financiera a nivel del Estado se espera que en el escenario de 3,5 % de población objetivo de VE en 2030 el ahorro en subvención sea de 198,8 millones de bolivianos en valor actual de costes a nivel nacional y 47,1 en la ciudad de La Paz. La demanda de energía eléctrica promedio por año es de 3.742 MWh para la ciudad de La Paz y una reducción de emisiones de CO₂ de 7.240 t por año a nivel nacional. Todas ellas con una probabilidad del 98% Figura 2.5

Figura 3-4
Ahorro en Costes Operación y Mantenimiento

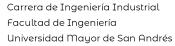


Fuente: Elaborado con base en Simulador de Evaluación Económica Usuario VE

Figura 3-5
Beneficio Económico Ambiental Escenario Probable

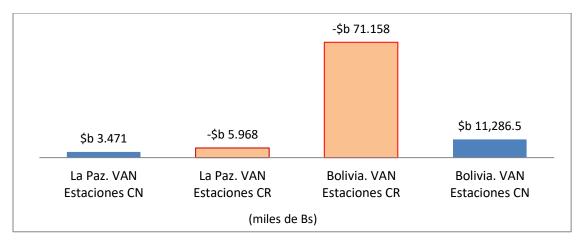


Fuente: Elaborado con base en Simulador Beneficio Económico Bolivia- La Paz



Por último tenemos que a nivel empresarial la posible inversión en estaciones de recarga normal traerían un beneficio al sector en 3,47 millones de bolivianos en valor actual neto en la ciudad de La Paz y 11,23 en toda Bolivia con una probabilidad del 92,7 %. Mientras que se esta inversión se realiza en estaciones de carga rápida, se requerirían de 71,16 millones de bolivianos más a invertir en toda Bolivia en valor actual ya que el costo de estas estaciones es elevado. **Figura 2.6.**

Figura 3-6
Inversión en Estaciones de Carga Escenario Probable



Fuente: Elaborado con base en Simulador Beneficio Económico

4 Conclusiones

En este trabajo se determinó a través de un modelo estimativo de simulación Montecarlo, el impacto económico, financiero, y ambiental que generaría la penetración gradual de una población de Vehículos Eléctricos en el parque automotor de la ciudad de La Paz y de manera general en Bolivia. Lo más importante de este proyecto fue construir el modelo de movilidad eléctrica que sirvió para determinar estos impactos en el horizonte temporal.

El modelo de VE se define en su mayoría por vehículos que realizan desplazamientos dentro de áreas urbanas, en este caso la ciudad de La Paz y El Alto, por motivos de trabajo, y asuntos de familia propios de un vehículo de carácter particular. Lo que más aportó a la construcción de este modelo fue la medición de los Kilómetros Recorridos (KVR) por un vehículo de tipo particular y por medio de este indicador se pudieron hallar otras variables secundarias.

Artículo Reg. 041 Revista Industrial 4.0, Año 3 N°5, 2022 industrial.umsa.bo/revistaindustrial-40 revistaindustrial 4.0@umsa.bo

En función a lo anterior descrito se ha determinado que el Ahorro en Costes de Subvención que se tendría debido a la penetración de una población de Vehículos Eléctricos es de aproximadamente 198,86 millones de bolivianos en valor actual de costos a nivel nacional y de 47,12 millones en la ciudad de La Paz. Esto bajo un escenario objetivo de 3,5% de stock acumulado para el año 2030.

En materia de emisiones se ha determinado, bajo este mismo escenario, una Reducción de Emisiones de CO2 y derivados de aproximadamente de 7.240 toneladas por año a nivel nacional y de 1.706 toneladas en la ciudad de La Paz, lo que equivale a reducir en promedio un 0,33% de CO2 comparado con un parque automotor sin VE.

Por su parte la posible inversión del sector privado en estaciones de CN le generaría a éste una utilidad de aproximadamente 11,28 millones de bolivianos a nivel Nacional y de solamente 3,47 millones en la ciudad de La Paz en un escenario optimista de cuota de mercado objetivo de 3,5% en 2030. En contrapartida si el empresario elige invertir en estaciones de CR estas no generar los ingresos suficientes para obtener utilidad y recuperar la inversión. A nivel Bolivia se requerirían 71,16 millones de bolivianos en valor presente y de 5,97 millones a nivel La Paz para cubrir esta necesidad de infraestructura.

Si hablamos del beneficio económico financiero que le genera al usuario como tal, se ha determinado que en el escenario actual con diferencia de precios entre las opciones eléctricas y de combustión la elección de un VE puede ahorrar en promedio un 68,5% en Costes de Mantenimiento y Operación pero que no son suficientes para justificar una diferencia de precios que es de aproximadamente 4.100 dólares para el caso propuesto del Nissan Leaf y Sentra. Pero si esta diferencia de precios se reduce considerablemente llegando casi a ser nula, la opción eléctrica le podría ahorrar al usuario unos 29.378 bolivianos en valor presente a lo largo de los diez años de análisis del proyecto.

RECOMENDACIONES

Para dar lugar a la viabilidad del vehículo eléctrico en las ciudades más importantes de Bolivia y con esto la reducción de los costos de subvención a los carburantes y la reducción de las emisiones de gases contaminantes se recomienda tomar acción

Artículo Reg. 041 Revista Industrial 4.0, Año 3 N°5, 2022 industrial.umsa.bo/revistaindustrial-40 revistaindustrial4.0@umsa.bo

con planes programas y proyectos específicos para la movilidad eléctrica donde los objetivos principales sean alcanzar poblaciones de VE en mediano y largo plazo.

El presente proyecto justifica la posible inversión en instalación de puntos de Carga Normal ya que genera utilidad, por ello se recomienda realizar estudios de viabilidad en otras ciudades de Bolivia que permitan abrir el mercado a posibles inversionistas y creación de empresas dedicadas a la venta de energía como lo sugiere la resolución 480/2021 de la AETN. Con esto será posible establecer tarifas de energía eléctrica más competitivas. Por otro lado la posible inversión en infraestructura de Carga Rápida tiene un coste elevado por lo que se sugiere inversiones público-privadas para cubrir con la demanda.

Se recomienda realizar mediciones del indicador Kilómetros Vehículos Recorridos (KVR) en las ciudades más importantes de Bolivia juntamente con estudios de eficiencia y rendimiento del parque automotor de nuestro país ya que con esta información es posible realizar proyectos de desarrollo a nivel local y nacional y estimar emisiones futuras de gases contaminantes.

Para evitar efectos negativos en las redes eléctricas es necesario integrar la demanda de energía eléctrica de la población de VE a la generación de energía renovable, y generación distribuida con la ayuda de redes inteligentes.

Este proyecto además de los objetivos que se han alcanzado ha determinado una metodología para evaluar los posibles impactos de las nuevas tecnologías en materia de transporte que se incorporaran los próximos años en nuestro país, producto del desarrollo tecnológico en el mundo. A manera de que las personas tomen conciencia de la importancia del uso eficiente de los recursos disponibles para su sostenibilidad en el futuro y a su vez mitigando al máximo los efectos en el medio ambiente, aspectos que sin duda forman parte de la ingeniería en su conjunto.

5 Bibliografía

California Energy Commission. (2011). *Energy Losses in a Vehicle*. Obtenido de www.consumerenergycenter.org.

Correo del Sur. (2 de Febrero de 2022). Bolivia: Importación de combustibles alcanza récord histórico. *Economia*.

- Gadea Capiscol, A. O. (Junio de 2015). Simulación de los Flujos de Potencia de una Población de Vehículos Eléctricos Mediante el Método Monte Carlo en un Sistema V2G. *Universidad Carlos III de Madrid*. Madrid, España.
- Gobierno Autonomo Municipal de La Paz. (2014). *Movilidad Intraurbana en la Región Metropolitana de La Paz.* Obtenido de Secretaria Municipal de Planificación para el Desarrollo: sitservicios.lapaz.bo
- Góngora Perez, J. P. (7 de junio de 2012). *Indicador Kilómetros Vehiculo Recorridos: Métodos de cálculo en diferentes países.* Obtenido de http://mexico.itdp.org/wp-content/uploads/MedicionKVR.pdf
- Instituto Nacional de Estadística. (Febrero de 2022). Importaciones Según Grandes

 Categorias Económicas. Obtenido de

 https://www.ine.gob.bo/index.php/estadisticas-economicas/comercioexterior/importaciones-cuadros-estadisticos/
- International Energy Agency. (12 de Diciembre de 2020). *Global electric car sales by key markets, 2010-2020*. Obtenido de www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electric-car-sales
- International Energy Agency. (21 de april de 2021). *Global EV Outlook 2021*. Obtenido de https://www.iea.org/search?q=Electric%20vehicles
- Mamani Ticona, Z. P. (2018). Bolivia: la subvención al diésel oíl importado y su impacto en el resultado fiscal corriente del sector público, 1997 2018. La Paz.
- Pareja, A., Hinojosa, M., & Lujan, M. (2011). *Inventario de Emisiones Atmosféricas*. Cochabamba.
- Revista VEC. Movilidad Electrica Sostenible. (2019). Obtenido de www.vehiculoselectricos.co/colombia
- Sarango, D. A., & Moncayo, P. A. (Mayo de 2016). *Determinacion del Indicador Vehículo Kilometros Recorridos (KVR) para la Ciudad de Cuenca*. Cuenca, Ecuador.
- Spiess Herst, N. (Junio de 2008). *Inventario de Emisiones del Municipio de La Paz 2007.* (P. A. Limpio, Ed.) Obtenido de Universidad Mayor San Andres (UMSA, II
- Statista. (marzo de 2021). Ventas de Vehiculos Hibridos y Electricos en Latinoamerica.

 Obtenido de https://es.statista.com/estadisticas/1134573/volumen-ventas-vehiculos-electricos
- Sterman, J. D. (2000). Business dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World. *Revista Iberoamericana de Contaduría, Economía y Administración*, 1-24.



Swisscontact. (2018). PROYECTO AIRE LIMPIO: INFORME 2003 - 2017. Obtenido de Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico: ttps://www.yumpu.com/es/document/view/50929697/semanas-de-aire-limpio-en-bolivia-2006-swisscontact

6 ANEXOS

Tabla A1. Datos no Agrupados de KVR Anual Municipio de La Paz

| 1.000 | 1.374 | 2.100 | 2.343 | 2.971 | 3.003 | 3.300 | 3.300 | 3.375 | 3.380 | 3.445 | 3.500 | 3.504 |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 3.554 | 3.777 | 3.825 | 3.909 | 4.000 | 4.017 | 4.045 | 4.074 | 4.100 | 4.114 | 4.124 | 4.201 | 4.240 |
| 4.250 | 4.287 | 4.333 | 4.373 | 4.375 | 4.385 | 4.388 | 4.400 | 4.500 | 4.500 | 4.667 | 4.700 | 4.724 |
| 4.727 | 4.739 | 4.750 | 4.770 | 4.784 | 4.900 | 4.915 | 5.058 | 5.075 | 5.200 | 5.277 | 5.278 | 5.323 |
| 5.366 | 5.383 | 5.413 | 5.418 | 5.433 | 5.463 | 5.466 | 5.500 | 5.517 | 5.526 | 5.667 | 5.667 | 5.672 |
| 5.702 | 5.738 | 5.753 | 5.758 | 5.767 | 5.771 | 5.850 | 5.870 | 5.933 | 5.945 | 6.000 | 6.016 | 6.021 |
| 6.063 | 6.111 | 6.115 | 6.117 | 6.125 | 6.176 | 6.315 | 6.410 | 6.415 | 6.418 | 6.471 | 6.520 | 6.546 |
| 6.667 | 6.681 | 6.700 | 6.702 | 6.714 | 6.717 | 6.719 | 6.733 | 6.734 | 6.746 | 6.787 | 6.790 | 6.793 |
| 6.793 | 6.831 | 6.845 | 6.870 | 6.882 | 6.889 | 6.934 | 6.989 | 7.000 | 7.020 | 7.089 | 7.109 | 7.121 |
| 7.142 | 7.169 | 7.216 | 7.222 | 7.333 | 7.355 | 7.368 | 7.430 | 7.500 | 7.500 | 7.520 | 7.544 | 7.594 |
| 7.594 | 7.618 | 7.632 | 7.633 | 7.646 | 7.647 | 7.667 | 7.712 | 7.750 | 7.780 | 7.781 | 7.833 | 7.870 |
| 7.890 | 7.939 | 7.995 | 7.997 | 8.000 | 8.015 | 8.033 | 8.054 | 8.056 | 8.062 | 8.074 | 8.134 | 8.153 |
| 8.160 | 8.203 | 8.265 | 8.300 | 8.323 | 8.333 | 8.340 | 8.357 | 8.372 | 8.422 | 8.454 | 8.471 | 8.500 |
| 8.577 | 8.635 | 8.667 | 8.713 | 8.778 | 8.800 | 8.896 | 8.930 | 8.941 | 8.963 | 9.000 | 9.023 | 9.083 |
| 9.100 | 9.102 | 9.112 | 9.152 | 9.156 | 9.167 | 9.175 | 9.180 | 9.186 | 9.231 | 9.238 | 9.250 | 9.300 |
| 9.321 | 9.325 | 9.333 | 9.333 | 9.336 | 9.355 | 9.400 | 9.400 | 9.405 | 9.461 | 9.483 | 9.487 | 9.500 |
| 9.567 | 9.629 | 9.643 | 9.650 | 9.653 | 9.670 | 9.675 | 9.679 | 9.743 | 9.750 | 9.781 | 9.800 | 9.847 |
| 9.901 | | | | 10.00 | 10.01 | 10.01 | 10.01 | 10.02 | 10.03 | 10.05 | 10.05 | 10.14 |
| | 9.926 | 9.950 | 9.991 | 0 | 1 | 5 | 8 | 0 | 5 | 0 | 7 | 0 |
| 10.14 | 10.15 | 10.27 | 10.33 | 10.33 | 10.40 | 10.42 | 10.46 | 10.50 | 10.54 | 10.55 | 10.58 | 10.60 |
| 7 | 3 | 7 | 3 | 3 | 0 | 0 | 5 | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 |
| 10.60 | 10.61 | 10.62 | 10.62 | 10.67 | 10.71 | 10.72 | 10.72 | 10.80 | 10.80 | 10.84 | 10.85 | 10.87 |
| 3 | 6 10.90 | 3 10.93 | 5 10.96 | 4 | 0 11.15 | 5 11.15 | 8 11.20 | 1 11.21 | 1 11.23 | 7 11.26 | 0 11.28 | 0 11.29 |
| 10.90 | 9 | 10.93 | 3 | 11.06 7 | 0 | 8 | 6 | 4 | 3 | 9 | 9 | 11.29 |
| 11.35 | 11.36 | 11.37 | 11.49 | , 11.50 | 11.50 | 11.50 | 11.61 | 11.66 | 11.70 | 11.72 | 11.75 | 11.84 |
| 0 | 7 | 1 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 3 | 3 | 0 | 2 |
| 11.84 | 11.95 | 11.96 | 12.00 | 12.00 | 12.02 | 12.04 | 12.05 | 12.10 | 12.14 | 12.22 | 12.22 | 12.25 |
| 6 | 8 | 4 | 0 | 1 | 8 | 3 | 4 | 0 | 5 | 2 | 3 | 7 |
| 12.37 | 12.40 | 12.40 | 12.50 | 12.50 | 12.50 | 12.51 | 12.57 | 12.63 | 12.67 | 12.71 | 12.78 | 12.90 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 | 1 | 4 | 9 | 0 |
| 13.00 | 13.19 | 13.33 | 13.40 | 13.42 | 13.47 | 13.50 | 13.55 | 13.57 | 13.65 | 13.74 | 13.75 | 13.84 |
| 0 | 9 | 3 | 8 | 5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 6 |
| 13.94 4 | 14.00 0 | 14.00 0 | 14.00 0 | 14.04 3 | 14.15 0 | 14.16 7 | 14.16 7 | 14.20 0 | 14.24 8 | 14.40 0 | 14.54 8 | 14.81 6 |
| 14.86 | 14.96 | 15.00 | 15.00 | 15.07 | 15.20 | 15.42 | , 15.43 | 15.66 | 15.72 | 15.80 | 15.91 | 15.93 |
| 0 | 8 | 0 | 4 | 4 | 6 | 8 | 4 | 7 | 7 | 13.00 | 3 | 3 |
| 16.00 | 16.02 | 16.20 | 16.49 | 16.78 | 16.81 | 16.81 | 16.83 | 16.86 | 16.97 | 17.00 | 17.13 | 17.14 |
| 0 | 8 | 0 | 3 | 9 | 7 | 8 | 3 | 2 | 5 | 0 | 7 | 3 |
| 17.26 | 17.50 | 17.51 | 17.65 | 17.66 | 17.78 | 18.27 | 18.45 | 18.83 | 19.24 | 19.25 | 19.50 | 20.00 |
| 3 | 0 | 1 | 0 | 7 | 9 | 6 | 0 | 3 | 9 | 0 | 3 | 0 |
| | | | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaborado en base a encuesta lectura de odómetro.

Tabla 2. Parámetros Variables de Entrada Simulador 1

| Regresión Lineal Demanda de Energía DELAPAZ (MWh) | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|--------------------|-------------------------|---------|--|--|--|--|--|--|
| Coeficientes | Mínimos Cuadrados | Error Estándar | Estadístico t | Valor-P | | | | | | |
| Intercepto | -86.977 | 4923,23 | -17,6667 | 0 | | | | | | |
| Pendiente | 43,9076 | 2,44936 | 17,9261 | 0 | | | | | | |
| Regresión Poli | nómica Demanda de En | ergía SIN y SA (G\ | Wh) | | | | | | | |
| A ₀ | 1837,35 | 162,179 | 11,3292 | 0,0 | | | | | | |
| A_1 | 104,545 | 18,2429 | 5,73071 | 0,0 | | | | | | |
| A_2 | 4,6634 | 0,431502 | 10,8074 | 0,0 | | | | | | |
| Regresión Line | al Crecimiento Parque A | Automotor de Boliv | ⁄ia | | | | | | | |
| Parámetros | Valor | Suma X² | Promedio X ² | Valor-P | | | | | | |
| Intercepción | -205.774.000 | 5,12958E+12 | 5,12958E+12 | 0,0 | | | | | | |
| Variable X 1 | 102.894,98 | 50276267279 | 3142266705 | 0,0 | | | | | | |
| Regresión Line | al Crecimiento Vehículo | s La Paz | | | | | | | | |
| Parámetro | Estimado | Error Estándar | Estadístico T | Valor-P | | | | | | |
| Intercepto | -44864300 | 862819 | -51,9973 | 0 | | | | | | |
| Pendiente | 22452,9 | 428,942 | 52,3448 | 0 | | | | | | |
| Ajuste de Mínir | nos Cuadrados Cuota d | e Mercado VE | | | | | | | | |
| Intercepto | -6,53164 | 0,13932 | -46,8822 | 0 | | | | | | |
| Pendiente | 2,5273 | 0,07995 | 32,5136 | 0 | | | | | | |
| Regresión Line | al para Rendimiento Vel | hicular (I/100km) | | | | | | | | |
| Intercepto | 312,821 | 12,4148 | 25,1975 | 0 | | | | | | |
| Pendiente | -0,15285 | 0,0062 | -24,81 | 0 | | | | | | |
| Regresión Line | al para Emisiones Vehic | culares (kg/100km) | | | | | | | | |
| Intercepto | 767,554 | 31,1568 | 24,6351 | 0 | | | | | | |
| Pendiente | -0,375 | 0,01546 | -24,2526 | 0 | | | | | | |
| Regresión Line | al Reducción Porcentua | Il del Precio VE | | | | | | | | |
| Intercepto | 0,3567 | 0,0938 | -10,9843 | 0 | | | | | | |
| Pendiente | -0,8835 | 0,0538 | -16,4065 | 0 | | | | | | |

Fuente: Elaborado en base a Análisis de Datos Microsoft Excel



instagram.com/industrialumsa / linkedin.com/in/industrialumsa
Youtube: Carrera de Ingeniería Industrial Umsa / facebook.com/IndustrialUMSA
twitter.com/industrialumsa





Av. Mcal. Santa Cruz N° 1175, Plaza del Obelisco Mezzanine, Edificio Facultad de Ingeniería TEl. 2205000-2205067, Int. 1402

Todos los Derechos Reservados - 2022 La Paz - Bolivia

