Anexos del libro: “Electromovilidad. Conceptos, políticas y lecciones aprendidas para el Perú”*

*Disponible en:
http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Electromovilidad-conceptos-politicas-lecciones-aprendidas-para-el-Peru.pdf

Anexo 1 – Indicadores aplicables a vehículos eléctricos[1]

Capacidad nominal de la batería (E_{nom}, en Wh o kWh)

Es la energía eléctrica total que puede proveer la batería. En condiciones de vacío, es la cantidad máxima de energía eléctrica que se puede extraer de una batería completamente cargada. Mientras mayor sea la capacidad de la batería, esta puede almacenar más energía y su carga completa tomará más tiempo.

Estado de carga de la batería (EdC, en %)

Se define como el cociente de la cantidad de energía almacenada en determinado momento en la batería (E_{bat}) entre la capacidad total de la batería (E_{nom}).

$$\mathrm{EdC} = \frac{\mathrm{E_{bat}}}{\mathrm{E_{nom}}} \times 100$$

Rango máximo (R_{max}, en km)

Es la distancia máxima que un automóvil eléctrico puede recorrer cuando la batería está completamente cargada. Por lo general, un automóvil eléctrico se prueba utilizando un ciclo de conducción estandarizado[2] para estimar el rango. La unidad a usar dependerá de la región en la que se encuentre el vehículo. En el caso peruano, el rango se expresa en kilómetros.

Rango disponible (R, en km)

Es la distancia máxima que un vehículo eléctrico puede recorrer en función del estado de carga de la batería en un determinado momento.

Energía consumida por kilómetro (D, en $^{kWh}/_{km}$)

Es un indicador que permite medir la eficiencia del vehículo eléctrico, pues indica la energía consumida por distancia recorrida.

Millas por galón equivalente (MPGe)

Es la distancia en millas[3] recorridas por el vehículo, utilizando la energía eléctrica equivalente a un galón. Se calcula sobre la base de la equivalencia planteada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), en la cual 33.7 kWh[4] de electricidad es equivalente a un galón de gasolina.

---

[1] Basado en DelftX (2019). *Electric Cars: Introduction*. Obtenido de edX Web site: https://www.edx.org/course/electric-cars-introduction-0

[2] El ciclo de conducción muestra la evolución de la velocidad de un vehículo en el tiempo.

[3] 1 milla = 1.609 km

[4] 33.7 kWh = 121 megajulios

Potencia del motor (P_m, en W)

Es la potencia que entrega el motor a las ruedas para la propulsión. Esta puede ser positiva o negativa, dependiendo de si el automóvil está avanzando o bajo el frenado regenerativo. La potencia se puede expresar como un producto del torque, expresado en radianes por segundo o rotaciones por minuto, y la velocidad de rotación del motor (wm), expresada en Newton-metro. Las unidades utilizadas son watts (W), kilowatts (kW) o caballos de fuerza (HP).

$$P_m = T_m \times w_m$$

Donde:

P_m: Potencia del motor (W)

T_m: Torque (N m)

w_m: Velocidad de rotación ($^{rad}/_{s}$, rpm)

Relación entre los indicadores

De manera ideal, un automóvil eléctrico debería tener un alto rango, un bajo consumo de energía por kilómetro y un alto nivel de MPGe. La siguiente fórmula se puede utilizar para conectar los parámetros anteriores.

$$R = \frac{E_{bat}}{D} = \frac{EdC}{100} \times \frac{E_{nom}}{D}$$

Donde:

R: Rango disponible (km)

E_{bat}: Capacidad actual de la batería (kWh)

D: Consumo de energía por kilómetro ($^{kWh}/_{km}$)

EdC: Estado de carga de la batería (%)

E_{nom}: Capacidad nominal de la batería (kWh)

Anexo 2 – Tipo de cambio equivalente a USD 1 al cierre del 14/06/2019

País o comunidad	Moneda	Tipo de cambio
Noruega	Corona noruega	8.7184
Unión Europea	Euro	0.8922
Colombia	Peso colombiano	3272.8939
México	Peso mexicano	19.1571
Australia	Dólar australiano	1.4552
China	Yuan o renminbi	6.9252

Fuente: Bloomberg. Elaboración: GPAE-Osinergmin.

Anexo 3 – China: subsidio para vehículos de pasajeros[5]

Subsidios para vehículos eléctricos de batería (VEB) dependiendo del rango (al 14/02/2018)

Rango (km)	Subsidio 2017 (RMB)	Subsidio 2018 (RMB)
[100; 150[	20 000	0
[150; 200[	36 000	15 000
[200; 250[	36 000	24 000
[250; 300[	44 000	34 000
[300; 400[	44 000	45 000
≥ 400	44 000	50 000
Subsidio por vehículo = Subsidio × Factor corrector por densidad de energía × Factor corrector por consumo de energía		

Subsidios para vehículos eléctricos híbridos enchufables (VEHE) dependiendo del rango (al 14/02/2018)

Rango (km)	Subsidio 2017 (RMB)	Subsidio 2018 (RMB)
≥ 50	23 000	22 000

Multiplicadores acorde con la densidad de energía de la batería (al 14/02/2018)

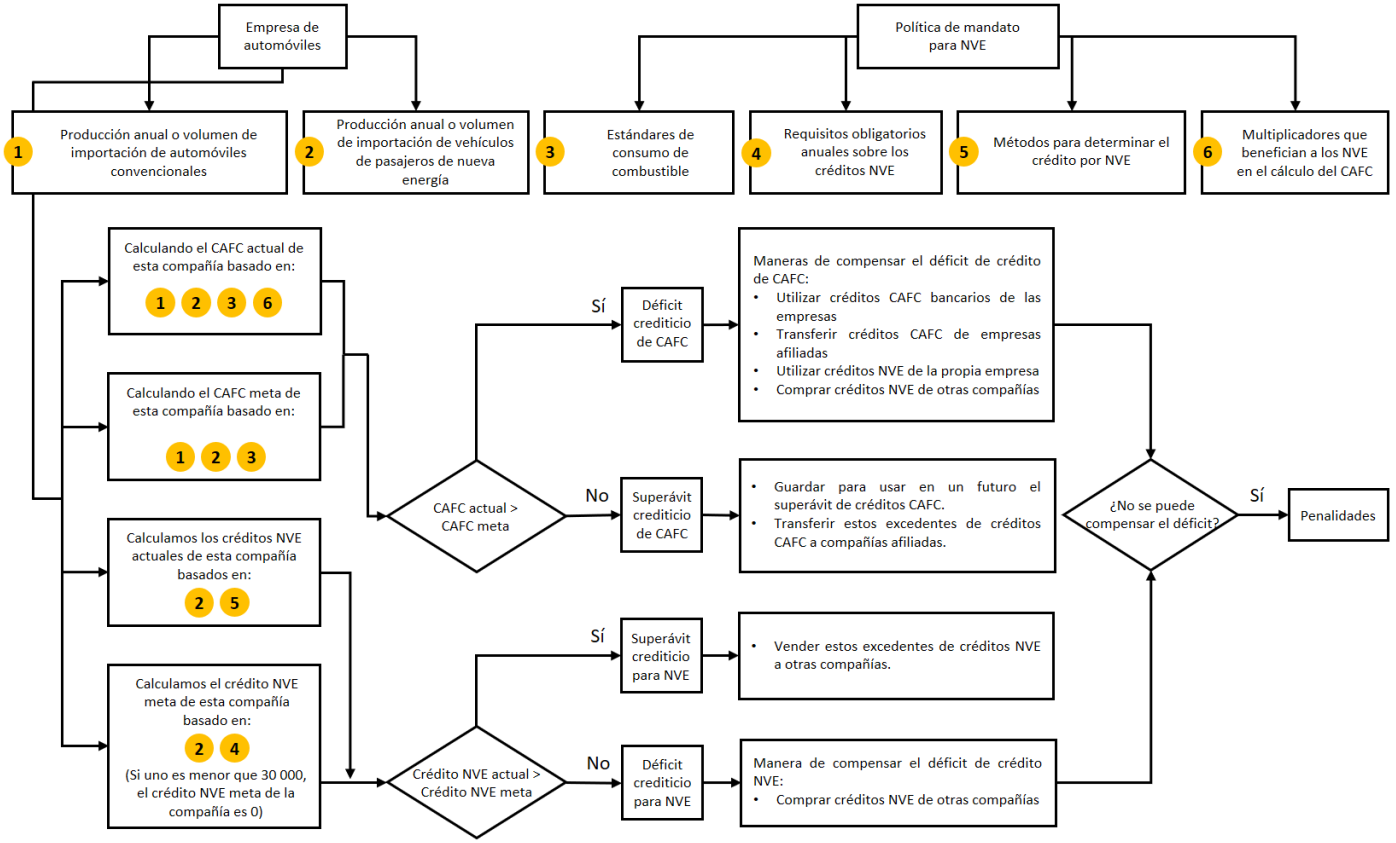
Rango (km)	Subsidio 2017 (RMB)	Subsidio 2018 (RMB)
<90	0.0	0.0
[90; 105[	1.0	0.0
[105; 120[	1.0	0.6
[120; 140[	1.1	1.0
[140; 160[	1.1	1.1
≥160	1.1	1.2

Multiplicadores acordes al consumo de VEB y VEHE (al 14/02/2018)

Consumo de energía *vs.* requerimientos básicos 2018	Subsidios 2017 (RMB)
> 1.0	0.0
[0.95; 1[	0.5
[0.75; 0.95[	1.0
≤ 0.75	1.1
Requerimientos básicos$_{2018}$= 0.9 × Requerimientos básicos$_{2017}$	

[5] Basado en Retzer, S., Huber, M., y Wagner, M. (2018). *The E-Mobility Race and China´s Determination to Win*. Beijing: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Obtenido de http://www.sustainabletransport.org/wp-content/uploads/2018/09/The-E-Mobility-Race-and-Chinas-Determination-to-Win-%E2%80%93-Measures-by-the-Chinese-government-to-accelerate-e-mobility-development.pdf

Anexo 4 – China: mapa conceptual sobre la aplicación del sistema dual de créditos



Nota. NVE: Nuevo vehículo de energía, CAFC: Consumo de Combustible Corporativo.

Fuente: International Council on Clean Transportation (2018)[6]. Elaboración: GPAE-Osinergmin.

[6] International Council on Clean Transportation (2018). *China's new energy vehicle mandate policy (final rule)*. Obtenido de International Council on Clean Transportation Web site: https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_China-NEV-mandate_policy-update_20180111.pdf

Anexo 5 – Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (2012)

Categorías de fuentes y sumideros	Dióxido de carbono [$GgCO_2$]	Metano [$GgCH_4$]	Óxido nitroso [GgN_2O]	Emisiones GEI [$GgCO_2e$]
1. Energía	**42 147.17**	**105.12**	**0.91**	**44 637.83**
1A. Quema de combustibles	**40 856.88**	**6.57**	**0.91**	**41 278.10**
1A1. Industrias de energía	11 857.00	0.36	0.05	11 880.83
1A1a. Producción de electricidad y calor públicas	8653.26	0.16	0.03	8664.66
1A1*a*i. Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN)	8468.02	0.15	0.02	8478.79
1A1*a*ii. Sistema Aislado (SA)	185.24	0.01	0.00	185.87
1A1b. Refinerías de petróleo	1913.13	0.03	0.00	1914.93
1A1c. Producción de combustibles y otras industrias de energía	1290.61	0.16	0.02	1301.24
1A2. Industrias de manufactura y construcción	7781.05	0.42	0.06	7808.88
1A2a. Otras industrias de manufactura y construcción	1605.15	0.10	0.01	1611.51
1A2b. Minería	6175.91	0.32	0.05	6197.37
1A3. Transporte	17 490.61	5.39	0.78	17 846.94
1A3a. Aviación	724.87	0.01	0.02	731.26
1A3a*ii*. Aviación nacional	724.87	0.01	0.02	731.26
1A3b. Terrestre	14 934.66	5.22	0.71	15 263.48
1A3c. Ferroviario	26.00	0.00	0.01	29.14
1A3d. Navegación nacional e internacional	1796.61	0.16	0.05	1814.55
1A3e. Otro tipo de transporte	8.48	0.00	0.00	8.51
1A4. Otros sectores	3728.22	0.40	0.02	3741.46
1A4a. Comercial/residencial	814.99	0.11	0.01	819.52
1A4b. Público	2363.89	0.19	0.00	2369.23
1A4c. Agricultura	126.00	0.04	0.00	127.14

1A4d. Pesquería	423.34	0.06	0.00	425.57
1B. Emisiones fugitivas de combustibles	**1290.29**	**98.54**	**-**	**3359.73**
1B1. Combustibles sólidos	8.29	3.03	-	72.01
1B2. Petróleo y gas natural	1282.00	95.51	-	3287.72
2. Procesos Industriales	**6063.54**	**-**	**-**	**6063.54**
2A. Productos minerales	**4518.20**	**-**	**-**	**4518.20**
2A1. Producción de cemento	3812.90	-	-	3812.90
2A2. Producción de cal	325.38	-	-	325.38
2A3. Uso de piedra caliza y dolomita	352.98	-	-	352.98
2A4. Producción y uso de carbonato de sodio	26.95	-	-	26.95
2B. Industria química	**10.97**	**-**	**-**	**10.97**
2B1. Producción de amoniaco	2.39	-	-	2.39
2B2. Producción de ácido nítrico	-	-	-	-
2B3. Producción de ácido adípico	-	-	-	-
2B4. Producción de carburo de calcio	8.58	-	-	8.58
2C. Producción de meta	**1534.37**	**-**	**-**	**1534.37**
2C1. Producción de hierro y acero	1390.04	-	-	1390.04
2C2. Producción de ferroaleaciones	-	-	-	-
2C3. Producción de aluminio	4.27	-	-	4.27
2C5. Producción de zinc	131.64	-	-	131.64
2C6. Producción de plomo	8.42	-	-	8.42
4. Agricultura	**-**	**604.87**	**43.04**	**26 043.68**
4A. Fermentación entérica	**-**	**511.20**	**-**	**10 735.14**
4B. Manejo del estiércol	**-**	**14.11**	**3.30**	**1318.66**
4C. Cultivos de arroz	**-**	**55.77**	**-**	**1171.27**
4D. Suelos agrícolas	**-**	**-**	**39.34**	**12 195.57**
4E. Quema de sabanas (pastos)	**-**	**14.72**	**0.18**	**365.71**

4F. Quema de residuos agrícolas	**-**	**9.06**	**0.22**	**257.33**
5. Uso de suelos y cambio de uso de suelos	**82 660.68**	**164.64**	**2.01**	**86 741.94**
5A. Cambios en biomasa y otros stocks leñosos	14 777.02	-	-	14 777.02
5A1. Pérdidas (tala, leña e incendios - bosques primarios)	18 700.49	-	-	18 700.49
5A2. Incremento de biomasa	- 3185.80	-	-	- 3185.80
5A3. Cultivos perennes	- 737.68	-	-	- 737.68
5B. Conversión de Bosques y Praderas	**79 771.81**	**-**	**-**	**79 771.81**
5B1. Tierra Forestal a Tierras Agrícolas	70 939.21	-	-	70 939.21
5B2. Tierra Forestal a Praderas	7000.96	-	-	7000.96
5B3. Tierra Forestal a Asentamientos	583.42	-	-	583.42
5B4. Tierra Forestal a Otros	1 248.22	-	-	1248.22
5C. Abandono de tierras cultivadas	**- 12 300.58**	**-**	**-**	**- 12 300.58**
5D. Emisiones y absorciones en el suelo	**412.44**	**-**	**-**	**412.44**
5E. Otros (gases no CO_2)	**-**	**164.64**	**2.01**	**4081.26**
6. Desechos	-	**345.15**	**1.85**	**7822.58**
6A. Disposición de residuos sólidos	-	285.96	-	6005.25
6A1. Residuos sólidos	-	285.96	-	6005.25
6B. Tratamiento de aguas residuales	**-**	**59.19**	**-**	**1817.33**
6B1. Efluentes industriales	-	15.96	-	335.16
6B2. Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	-	43.23	-	1482.17
6B2a. Aguas residuales domésticas	-	43.23	-	907.75
6B2b. Excretas humanas	-	-	1.85	574.42
Total	**130 871.39**	**1219.78**	**47.82**	**171 309.57**

Fuente y elaboración: Ministerio del Ambiente[7].

[7] Información disponible en http://infocarbono.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/05/Tabla-Excel-_INGEI-2012-12-05-17.xlsx

Anexo 6 – Factores de conversión del litio

Para convertir de:	Fórmula química	Para convertir a:		
		Contenido de litio	Contenido de óxido de litio	Equivalente de carbonato de litio
		Multiplicar por:		
Litio	Li	-	2.153	5.323
Óxido de litio	Li_2CO	0.464	-	2.473
Carbonato de litio	Li_2CO_3	0.188	0.404	-
Cloruro de litio	LiCl	0.163	0.362	0.871
Bromuro de litio	LiBr	0.080	0.172	0.425
Monohidrato de hidróxido de litio	$LiOH.H_2O$	0.165	0.356	0.880
Butil litio	C_4HgLi	0.108	0.233	0.576

Fuente: British Geological Survey[8]. Elaboración: GPAE-Osinergmin.

[8] British Geological Survey (2016). *Lithium*. Obtenido de British Geological Survey (BGS) Web site: https://www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=3100

Anexo 7 – Supuestos del análisis de Costo Total de la Propiedad

Para el análisis del costo total de propiedad se utilizaron diferentes fuentes de información y se realizaron diversos supuestos, los cuales son detallados a continuación. Asimismo, el análisis se encuentra basado en el trabajo desarrollado por Gómez-Gélvez, Mojica, Kaul e Isla (2016)[9], donde se realiza la comparación del Costo Total del Propiedad (CTP) de los vehículos con motor de combustión interna (VMCI), vehículos eléctricos híbridos (VEH) y vehículos eléctricos de batería (VEB) para diversos países de América Latina, incluido el Perú.

Costos de compra

Los precios de venta (con impuestos) de los vehículos Kia Rio, Toyota Yaris, Toyota Corolla, Prius, Prius C fueron tomados de los sitios web de las empresas. En el caso de los vehículos Nissan Leaf y Renault Cabe, al no encontrarse disponibles para la venta en el Perú, sus precios de venta fueron estimados utilizando el rango de precio en Chile entre el Toyota Prius y el Nissan LEAF (1.26), y el Toyota Prius y el Renault Zoe (1.56).

Para el costo financiero, se consideró un pago inicial de 20% y un plazo de préstamo de cinco años, con una tasa de interés de 13%. Asimismo, se añadió un costo de USD 2000 para la instalación y compra de una estación de carga de nivel 2 para los VEB.

Asimismo, se consideró un valor residual después de 8 años para todos los casos, una tasa de depreciación de 8% para los vehículos, y de 20% para las baterías de los VEB, a fin de compensar un tiempo de vida más corto.

Costos de propiedad

Se consideró un costo de seguro de cobertura total[10]. En el caso de los VEB, donde no se contó con información del costo del seguro, se estimó el costo total del seguro mediante la relación promedio del costo del seguro entre precio de venta de los VMCI y VEH, estimado en 4.3%. Asimismo, se utilizó un costo anual de USD 32 para los VEB a fin de compensar por el mantenimiento de las estaciones de carga de nivel 2. No se consideraron los costos de propiedad relacionados con el estacionamiento.

Costos de funcionamiento

Se asumió un costo de mantenimiento general y repuestos de USD 0.758 / km para los VEB y de USD 1.647 / km para los VEH y VMCI. Se utilizaron los precios de energía mostrados en el siguiente gráfico, los cuales se asumieron como constantes a lo largo de los 8 años de periodo de análisis. El nivel de uso en el Perú fue tomado de *The Economist Pocket World in Figures* (edición 2015), elaborado por el semanario The Economist. El número de kilómetros anual usado fue de 22 000 km. Finalmente, los costos de funcionamiento relacionados con el estacionamiento no fueron considerados.

[9] Gómez-Gélvez, J., Mojica, C., Kaul, V., e Isla, L. (setiembre de 2016). *La incorporación de los vehículos eléctricos en América Latina*. Obtenido de BID Web site: https://publications.iadb.org/es/publicacion/17165/la-incorporacion-de-los-vehiculos-electricos-en-america-latina

[10] Información disponible en https://comparabien.com.pe

Consumo de combustible por tipo de vehículo

Consumo de combustible	KIA Rio (VMCI)	Toyota Yaris (VMCI)	Toyota Prius C (VEH)	Renault Zoe (VEB)	Toyota Corolla (VMCI)	Toyota Prius (VEH)	Nissan LEAF (VEB)
gal / 100 millas	3.1	3.1	2.2	-	3.2	1.9	-
kWh / 100 millas	-	-	-	24.4	-	-	30.0

Fuente: Fuel Economy[11]. Elaboración: GPAE-Osinergmin.

Finalmente, se considera una tasa de descuento para el análisis del costo total de la propiedad del 4%, utilizada en Palmer, Tate, Wadud y Nellthorp (2018)[12] para su estudio del CTP en California, Texas y Reino Unido.

[11] Información disponible en www.fueleconomy.gov

[12] Palmer, K., Tate, J., Wadud, Z., y Nellthorp, J. (2018). Applied Energy. *Total cost of ownership and market share for hybrid and electric vehicles in the UK, US and Japan, 209*, 108-119. Obtenido de https://www.enriquedans.com/wp-content/uploads/2017/12/Total-cost-of-ownership-and-market-share-for-hybrid-and-electric-vehicles-in-the-UK-US-and-Japan.pdf