



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y SISTEMAS
ICS1113-OPTIMIZACIÓN

Entrega 2

**Minimizar el tiempo de un vehículo eléctrico
determinando rutas y recargas.**

Grupo 68

Octavio Águila, N°: 20207891, Sección: 4
Joaquín Arce, N°: 20642849, Sección: 1
Martita Browne, N°: 2064003J, Sección: 4
Sebastián Carrasco, N°: 20643020, Sección: 4
Cristian Nova, N°: 18642764, Sección: 2
Tomás Vargas, N°: 20642865, Sección: 4

Fecha entrega: 08 de mayo de 2024

Índice

1. Descripción del Problema	3
1.1. Motivación	3
1.2. Propuesta de valor	4
1.3. Objetivo y restricciones	4
2. Modelación del Problema	6
3. Conjuntos	6
4. Parámetros	7
5. Variables	8
6. Función objetivo	8
7. Restricciones	8
8. Naturaleza de las variables	10
9. Referencias bibliográficas	11

1. Descripción del Problema

1.1. Motivación

Actualmente, el área de transporte contribuye a un 28,5 % de las emisiones de CO₂, lo que equivale a 36.300 millones de toneladas de CO₂, siendo 60,6 % emitido solo por automóviles (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2022). En base a esto, se han explorado alternativas que permitan reducir estas emisiones de CO₂, por ejemplo, los autos híbridos reducen un 33 % la contaminación producida por los autos que usan gasolina. También existen los autos eléctricos PHEV que funcionan a base de electricidad carbono neutral, entre las cuales está la energía nuclear, la biomasa, entre otras alternativas de generación renovable de energía. Este tipo de autos genera un 66 % de reducción de las emisiones de CO₂ que genera un auto cualquiera.

En el contexto nacional, según el Balance Nacional de Energía (BNE, 2018), el 99 % de la energía utilizada en el sector de transporte es de algún derivado del petróleo. Asimismo, el sector del transporte terrestre es encargada de un 24,1 % de las emisiones de gases efecto invernadero en nuestro país, lo que equivaldría a 37 Gton de CO₂.

Los vehículos eléctricos se pueden clasificar según 3 tipos de tecnologías (Ministerio de Energía, 2024): eléctricos a batería, híbridos enchufables (motor de combustión y motor eléctrico) y eléctricos con celdas de combustible de hidrógeno. En los tres casos se utiliza un motor eléctrico que proporciona movimiento al vehículo utilizando electricidad como fuente de energía. Sin embargo, una de las principales diferencias está en el origen de la electricidad que fluye hacia el motor para cada tecnología.

- Vehículo eléctrico a batería: Conocido por su sigla en inglés como BEV (Battery Electric Vehicle), almacena electricidad en sus baterías cargándose a través de la red convencional de distribución eléctrica.
- Vehículo híbrido enchufable: Conocido por su sigla en inglés como PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle), almacenan electricidad en baterías y funcionan igual que un BEV. Además, tienen un motor de combustión interna para operar como cualquier vehículo convencional.
- Vehículo con celda de combustible de hidrógeno: Conocido por su sigla en inglés como FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle), utilizan electricidad que se produce en el mismo vehículo a partir del hidrógeno. Un FCEV se recarga entonces con hidrógeno en forma de gas y no con electricidad.

Los vehículos eléctricos a baterías (BEV) y los vehículos híbridos enchufables (PHEV) requieren de suministro eléctrico mediante sistemas de carga o también denominado infraestructura de carga. Éstos se conforman de múltiples cargadores eléctricos que hacen de interfaz entre el vehículo y la red de suministro de electricidad.

Un punto de carga público es el ubicado en un espacio público como una plaza o en propiedad privada con acceso público, como el estacionamiento de un supermercado o un centro comercial. A Mayo del 2020, la red de cargadores públicos en Chile alcanzó las 160 unidades y cuyos responsables son aquellos que han declarado de forma explícita su apoyo a la electromovilidad en Chile a través del Acuerdo Público Privado del Ministerio de Energía. El 75 % de la infraestructura de recarga en Chile es privada mientras que el resto es de carácter público. Estos cargadores privados se encuentran predominantemente en el domicilio o el lugar de trabajo. Los tipos de instalaciones privadas para carga de vehículos son: electro-terminales, centros de carga para transporte público, edificios o conjunto habitacional o viviendas individuales.

Las baterías son uno de los componentes fundamentales de un auto eléctrico, ya que determinan su autonomía y precio. Las baterías de litio (Álvarez, 2022) son las más usadas. El rendimiento de esta batería, con el uso y el paso del tiempo, se va degradando. Entre los factores que influyen a este rendimiento y degradado está el aumento de la temperatura interna debido al proceso de carga y descarga, el cual influye directamente en el incremento de la resistencia interna y del estado de carga (State of Charge, SOC). A un mayor estado de carga, existe una mayor impedancia y una pérdida de almacenamiento de energía en las celdas de la batería.

Cuando el estado de carga se encuentra entre 20 % y 80 % se genera una alta eficiencia de descarga dado que gran parte de la energía química tiende a convertirse en electricidad. Fuera de este rango, se genera un cambio importante del voltaje, debido a los cambios de resistencia interna y de polarización. Por ello, al cargar una batería de litio, componente del auto eléctrico, es importante considerar este estado de carga, se recomienda cesar el proceso de carga a un 80 % de la capacidad del SOC. De este modo, no se genera sobrecarga, lo que tiene como consecuencia el sobrecalentamiento de la celda, provocando la pérdida de material activo y, en el peor de los casos, fuga térmica (Álvarez, 2022).

Para ello, el modelo está enfocado para ser utilizado por las personas que posean un auto eléctrico en la ciudad de Santiago debido a que, si bien existen 152 puntos de carga en la ciudad, más de la mitad están ubicados en la zona oriente. Sin embargo, este mismo modelo puede luego extrapolarse a otras regiones y ciudades, ya que no considera elementos la geografía o particularidades de la ciudad. El horizonte bajo el cual funciona el modelo es diariamente, más específicamente, se enfoca en la planificación de cada viaje para optimizar la carga del auto.

1.2. Propuesta de valor

Desde 2017, el Ministerio de Energía de Chile ha liderado iniciativas destinadas a promover la adopción de tecnologías de baja huella de carbono. En este contexto, la Estrategia Nacional de Electromovilidad establece objetivos ambiciosos, como la meta de que el 100 % del transporte público sea eléctrico para 2040, y que el 40 % de los vehículos particulares sean eléctricos para 2050 (Plataforma De Electromovilidad, 2024).

Esta transición hacia la electromovilidad no solo abarca vehículos urbanos como automóviles y autobuses, sino también vehículos de largo recorrido como autobuses interurbanos y camiones. Sin embargo, para impulsar la adopción masiva de vehículos eléctricos, es crucial superar los desafíos asociados, como las limitaciones de autonomía de la batería, El acceso de puntos de carga y las limitaciones de velocidad.

El objetivo de este proyecto es minimizar los tiempos de viaje de los vehículos eléctricos, tanto urbanos como interurbanos, lo que representa un paso fundamental hacia una movilidad más eficiente y sostenible. Es importante considerar que la optimización del tiempo de ruta de los vehículos eléctricos es esencial para maximizar su utilidad y competitividad en el mercado (Vani. B. V, 2023).

Se espera que este proyecto genere un impacto significativo al proporcionar herramientas prácticas para la toma de decisiones eficientes en relación con la implementación de vehículos eléctricos en diversos entornos. Algunas de las aplicaciones esperadas incluyen la estimación de puntos de carga óptimos para minimizar el tiempo en ruta, la identificación de rutas más favorables y la determinación de carga adecuada por punto de carga, contribuyendo así a la viabilidad y eficacia de la electrificación del transporte.

1.3. Objetivo y restricciones

Con base en la propuesta de valor se presenta el desafío de determinar la ruta de más eficiente en tiempo de un vehículo eléctrico que hace viajes urbanos e interurbanos.

Para acotar el problema y concretarlo a un caso de aplicación se plantea el siguiente escenario. Una empresa de entrega de correspondencia cuenta con flota de vehículos eléctricos de iguales características. Esta opera en una ciudad de baja densidad poblacional, lo que implica que el vehículo debe recorrer largas distancias para llegar a sus puntos de entrega, una ventaja de esto es que el tráfico es despreciable.

En un recorrido, el vehículo de entregas debe pasar por sus puntos de entrega correspondientes y además, si lo necesita, puede pasar por puntos de carga en forma de electrolineras Y_i , donde Y_i toma el valor de 1 cuando el nodo i es punto de carga en el conjunto $i \in N$. El vehículo parte el día con una energía base E_b y al iniciar su recorrido empieza a correr un cronómetro. El viaje del vehículo desde un punto a otro, ya sea un punto de entrega o una electrolinera, tiene un costo asociado en tiempo y energía, ya sea de ida o de vuelta, asociados a T_{ij} y e_{ij} respectivamente.

En cada electrolinera se puede administrar un porcentaje de cargar al vehículo. La empresa, siendo consciente que el nivel de carga óptimo de una batería está entre 20 % y 80 % de su carga

máxima B , se ha impuesto la regla de que la carga E_j nunca debe superar el 80 %. Además, por estándares de seguridad nunca debe ser menor al 20 %.

Además siempre existirá un camino X_{ij} dentro del grafo que el automóvil pueda tomar, a menos que se encuentre al final del recorrido, en ese caso, al no tener un camino que tomar, se acaba el viaje del vehículo.

Como información adicional se estima que todas las electrolinerías tienen un factor común de tiempo por unidad de % de carga, representado por el parámetro g .

La empresa plantea el objetivo de plantear la ruta más rápida que favorezca la eficacia en tiempo de entrega de los vehículos eléctricos.

2. Modelación del Problema

Problema planteado

Una empresa de entrega de suministros cuenta con una flota de vehículos eléctricos K , donde cada vehículo corresponde a un tipo v del conjunto de tipos de vehículos V . Esta empresa opera en toda la ciudad de Santiago durante la media noche y la madrugada, esto con el objetivo logístico de eludir el tráfico (Moraga, 2020).

Cada tipo de vehículo de la flota tienen su propio límite de potencia de carga P_v en kW. Es decir, un vehículo de tipo v no puede ser cargado en un punto de carga i que entregue una potencia de carga r_i mayor a P_v [kW]. Se cuenta con el registro Y_v^k , que indica si un auto k es del tipo v , y la información de Z_i^k , que indica si el vehículo k se puede cargar en el punto i . Además los vehículos de la flota cuentan con una batería de tamaño C_v [kWh], que depende del tipo de vehículo v e indica cuál es la máxima carga que ese tipo de vehículo puede alcanzar, y un adaptador de puerto de carga universal, por lo que pueden ser cargados en cualquier punto de carga, independiente del conector de carga que tenga.

En un recorrido, el objetivo del vehículo es llegar hasta su punto de entrega correspondiente. Se comienza desde un punto y y se transita por puntos neutros o por puntos de carga (electrolineras) hasta llegar a un punto de entrega. Cada punto i pertenece al conjunto N . Se cuenta con una base de datos de los puntos de interés que indica si el punto $i \in N$ es un punto de carga o no. Todos los vehículos inician su recorrido desde la sede b de la empresa con una energía base L_b^k , al iniciar su recorrido, se empieza a cronometrar el tiempo. El viaje del vehículo desde un punto a a otro, ya sea a un punto de entrega o de carga, tiene un costo asociado en tiempo y energía de ida, que es igual a la de vuelta, asociados a T_{ij} y e_{ij} respectivamente. La pérdida de energía de un tipo de vehículo v por viajar desde un punto i a uno j se calcula como $\alpha_v \cdot e_{ij}$, siendo α_v el factor de consumo tipo de vehículo v .

Una desventaja de los vehículos eléctricos es que cuando la temperatura de su batería no está en su valor óptimo, la duración y vida útil de la batería se ven afectados negativamente (Argue, 2023). Se sabe que los vehículos se calientan $\omega_j i^\circ\text{C}$ por viajar desde un nodo j a un nodo i y también se tiene el conocimiento H_v que indica la temperatura óptima de operación de un vehículo de tipo v . Independiente del tipo de vehículo, la temperatura de una batería nunca debe superar el punto crítico de los γ (70°C) (Lars, 2020). Tras un estudio se determinó que un vehículo que llegan sobrecalentado a un punto i experimentan una pérdida adicional de energía correspondiente a un quinto de la energía e_{ij} que se usa para llegar a ese punto i desde otro j .

En cada electrolinera se puede administrar un porcentaje de carga al vehículo. La empresa, siendo consciente que el nivel de carga óptimo de una batería está entre 20 % y 80 % de su carga máxima B , ha impuesto la regla de que la carga E_j^k , es decir la carga de un vehículo k en un punto j , nunca debe superar el 80 %. Por estándares de seguridad nunca debe ser menor al 20 % para cualquier $j \in N$.

Se puede asumir que siempre existirá un camino X_{ij} dentro del grafo que el automóvil pueda tomar, a menos que se encuentre al final del recorrido, en ese caso, al no tener un camino que tomar, se acabara el viaje del vehículo. Como información adicional se estima que cada punto de carga tiene una potencia de carga de r_i kW, y una constante de porcentaje de carga por minuto g_i , relacionada con r_i .

La empresa plantea el objetivo de lograr la ruta más rápida que favorezcan la eficacia en tiempo de entrega de los vehículos eléctricos, para mostrarse competitiva ante los autos de combustión interna.

3. Conjuntos

$$G = (N, A), \text{ donde } N = \{1, \dots, n\} \text{ y } |A| = m$$

- $i \in N$: Conjunto de nodos
- $(i, j) \in A$: Conjunto de aristas

- $O(i) = \{j \in N | (i, j) \in A\}$: Conjunto de nodos de destino de los arcos que salen de i .
- $I(i) = \{j \in N | (j, i) \in A\}$: Conjunto de nodos de inicio de los arcos que ingresan a i .
- S_k : es el conjunto que posee a todos los nodos solución que son parte del camino para el auto k .
- $k \in K$: Conjunto de autos.
- $v \in V$: Conjunto de tipos de auto (Ej: Camioneta, CityCar, SUV).

4. Parámetros

- B : Porcentaje de energía máximo de carga de la batería, valor constante igual a 100 %. [%]
- e_{ij} : Porcentaje de energía de la batería requerido para moverse del nodo i al nodo j . [%]
- ω_{ij} : Variación de temperatura de la batería al moverse del nodo i al nodo j . [°C] (es negativa en aristas que salen de electrolineras, y positiva en todos los otros).
- T_{ij} : Tiempo de viaje del nodo i al nodo j . [min]
- L_b^k : Porcentaje de energía inicial de la batería del vehículo k . [%]
- θ : Temperatura inicial de operación de todos los k vehículos.
- $r_i \in \{3.5, 7, 22, 50\}$: Potencia de carga entregada en el nodo i [kW] (Enel, s.f.).
- C_v : Tamaño de la batería para vehículos del tipo $v \in V$ [kWh].
- P_v : Potencia de carga máxima que soporta un vehículo del tipo $v \in V$ [kW].
- H_v : Temperatura ideal de operación de la batería de un auto del v [°C]. **Nota: H_v es estrictamente menor que γ .**
- γ : Temperatura máxima que pueden alcanzar las baterías, constante igual a 70 [°C].
- α_v : Factor de consumo según tipo de vehículo v .
- g_i : Se define el parámetro auxiliar como la constante de porcentaje de carga por unidad de tiempo del punto de carga i que varía según la potencia que entrega dicho nodo. [$\frac{\%}{\text{min}}$]

$$g_i = \frac{r_i}{C_v \cdot 60 \frac{\text{min}}{h}}$$

- Z_i^k : Indicador de si el vehículo k se puede cargar en la electrolinera i porque cumple con que la potencia de carga del vehículo es mayor o igual a la potencia de carga entregada en el nodo i . Definido como:

$$Z_i^k = \begin{cases} 1 & P_v \geq r_i, \text{ si el vehículo } k \text{ se puede cargar en electrolinera } i \\ 0 & \text{ en otro caso} \end{cases}$$

- Y_v^k : Indicador de si el vehículo k es de tipo v . Definido como:

$$Y_v^k = \begin{cases} 1 & \text{ si el vehiculo } k \text{ es de tipo } v \\ 0 & \text{ en otro caso} \end{cases}$$

5. Variables

- $X_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{si el nodo } i \text{ y el nodo } j \text{ pertenecen al camino elegido del auto } k \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases} \quad \forall k \in K, \forall (i, j) \in A$
- E_j^k : Energía porcentual de la batería del auto k al salir del nodo j $\forall k \in K, \forall j \in S_k$
- R_i^k : Tiempo de carga en el punto de carga i del auto k $\forall i \in N \quad | \quad Z_i^k = 1$
- F_i^k : Temperatura de la batería del auto k en el nodo i .
- $U_i^k = \begin{cases} 1 & \text{si la temperatura de la batería del auto } k \text{ supera la temperatura ideal de operación en el nodo } i \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$

6. Función objetivo

Nuestra función busca minimizar el tiempo de viaje del vehículo eléctrico considerando el tiempo que utiliza para cargarse en cada electrolinera durante el viaje junto con el tiempo de traslado. La idea es que en las restricciones se tome en cuenta la minimización del uso de energía eléctrica y la maximización de la vida útil de la batería, tal que el sistema de transporte eléctrico sea competitivo con los medios de transporte tradicional.

$$\text{mín} \quad \sum_{k=1}^{\kappa} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (T_{ij} \cdot X_{ij}^k + R_i^k)$$

7. Restricciones

Para las restricciones del problema consideraremos:

1. Hay un camino dentro del grafo.

$$\sum_{j \in O(i)} X_{ij}^k - \sum_{j \in I(i)} X_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{si } i = 1 \\ -1 & \text{si } i = n \text{ tal que } i \in N \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases}$$

2. Se define la energía de la batería en el nodo j tal que:

La energía en el nodo de inicio para todo auto k es igual al porcentaje de energía inicial de baterías definida en el parámetro L_b^k .

$$E_1^k = L_b^k \quad \forall k \in K$$

La energía requerida para moverse de un nodo i a un nodo j siempre dependerá del parámetro de energía requerida e_{ij} para moverse entre ellos y del parámetro de factor de consumo α_v . Si i es un punto de carga y r_i es menor o igual a la potencia de carga aceptada por el auto P_v , la energía en el nodo j considerará que el auto fue cargado siempre. Esto se ve reflejado en el parámetro Z_i^k .

Teniendo todo esto en cuenta, obtenemos:

$$E_j^k = \sum_{i \in I(j)} [(E_i^k - e_{ij} \cdot \alpha_v \cdot Y_v^k) + (R_i^k \cdot g_i) \cdot Z_i^k - U_i^k \cdot \frac{e_{ij}}{5}] \quad \forall j = \{2, \dots, n\} \quad \forall k \in K$$

3. Se relaciona la variable E_j^k con la X_{ij}^k de manera que cuando no escoja el camino la energía gastada es cero y cuando se elige tomará un valor máximo teórico, según el método de la Big M.

$$E_j^k \leq B \cdot X_{ij}^k \quad \forall j = \{2, \dots, n\}$$

4. Se relaciona la variable R_i^k con la X_{ij}^k de manera que cuando no escoja el camino el tiempo de carga es cero y cuando se elige el camino sumado a que pertenece a una electrolinera tomará un valor máximo teórico, utilizando el método de la Big M (valor M muy grande).

$$R_i^k \leq M \cdot X_{ij}^k \cdot Z_i^k \quad \forall i \in N \quad \forall k \in K$$

5. Se limita la carga de la batería para aumentar la vida útil de la batería.

$$0,2B \leq E_i^k \leq 0,8B \quad \forall i \in N \quad \forall k \in K$$

6. Se define que solo se puede cargar en electrolineras y que el tiempo total de recarga no excederá jamás el tiempo que tomaría cargar la batería por completo.

$$g_i \cdot R_i^k \leq B \cdot Z_i^k \quad \forall i \in N \quad \forall k \in K$$

7. La cantidad de energía final es suficiente para llegar a una electrolinera en donde, $E_{h,min}^k$ se define como la energía mínima para llegar a la electrolinera ubicada en el nodo h y $E_{j,final}^k$, la batería final al llegar al nodo j

$$E_{h,min}^k \leq E_{j,final}^k \quad h, j \in N \quad | \quad h \neq j$$

Las siguientes 2 restricciones establecen que si la batería del auto k supera el límite máximo ideal de operación (H_v) del tipo de vehículo v al que k pertenece entonces la variable binaria auxiliar (U_i^k) tomará el valor de 1. En el caso contrario, esta tomará el valor de 0.

8. Primero se limita la temperatura de la batería de un auto en específico F^k tal que siempre sea menor o igual al óptimo de operación H_v de su tipo de auto v ,

M : Un valor suficientemente grande

$$F_i^k \leq H_v \cdot Y_v^k + M \cdot U_i^k \quad \forall v \in V \wedge \forall k \in K \wedge \forall i \in N$$

9. Siguiendo la misma idea anterior, pero para la cota inferior.

M : Un valor suficientemente grande

ϵ : Un valor pequeño para asegurar la desigualdad estricta

$$F_i^k \geq H_v \cdot Y_v^k + \epsilon - M \cdot (1 - U_i^k) \quad \forall k \in K \wedge \forall i \in N$$

10. Se relaciona las variables U^k de manera que el valor máximo que puede tomar es cuando X_{ij} toma el valor de uno, pues solo si es parte del camino elegido U^k puede tomar valor uno.

$$U_i^k \leq X_{ij}^k \quad \forall k \in K \wedge \forall i \in N$$

11. Se define el aumento y disminucion de temperatura

$$F_1^k = \theta$$

$$F_j^k = \sum_{i \in I(j)} F_i^k + \omega_{ij}$$

12. Se relaciona la variable F_j^k con la X_{ij}^k de manera que cuando no escoja el camino la temperatura es cero, y cuando se elige podrá tomar hasta un valor máximo teórico de temperatura γ que podría alcanzar una batería.

$$F_j^k \leq \gamma \cdot X_{ij}^k \quad \forall j = \{2, \dots, n\} \quad \forall k \in K$$

8. Naturaleza de las variables

$E_j^k \geq 0,2 \cdot B$ (Energía porcentual al salir de un nodo mayor al 20 % para todos los autos k)

$R_i^k \geq 0$ (Tiempo de carga 0 en nodos no electrolineras y mayor o igual a 0 en nodos electrolineras)

$X_{ij}^k \in \{0, 1\}$ (Variable binaria que indica la arista (i, j) pertenece al camino elegido por el auto k)

$F_i^k \geq 0$ (Variable discreta que indica la temperatura de la batería del auto k en el nodo i)

$U_i^k \in \{0, 1\}$ (Variable binaria que indica si la temperatura de la batería del auto k supera la temperatura ideal de operación en el nodo i)

9. Referencias bibliográficas

Alvarez, C. Méndez, D. (2022). Revisión del estado del arte de la influencia de los diferentes modos de carga en la vida útil de las baterías de ion litio de un vehículo eléctrico. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22475>

Argue, C. (2023, December 14). ¿En qué medida afecta la temperatura al rango de los vehículos eléctricos? Geotab. <https://www.geotab.com/es-latam/blog/temperatura-autonomia-vehiculos-electricos/>

City of Palencia (2013), <http://www.aytopalencia.es/sites/default/files/pdf/guia-vehiculos-2013.pdf>

Dong J, Liu C, Lin Z, Charging infrastructure planning for promoting battery electric vehicles: An activity-based approach using multiday travel data, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2014 38:44-55

Dyke, K. J., Schofield, N. Barnes, M (2010). “The impact of transport electrification on electrical networks,” *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 57, no.12, pp. 3917-3926.

Emisiones de aviones y barcos: datos y cifras (infografía). (2019). Parlamento Europeo. <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20191129STO67756/emisiones-de-aviones-y-barcos-datos-y-cifras-infografia>

Helmes E. Marx, P. (2012). Electric cars: technical characteristics and environmental impacts, *Environmental Sciences Europe*, 2012, 14:4

Lars. (2020, September 26). Ideal battery temperature? - EVcreate. EVcreate. <https://www.evcreate.com/ideal-battery-temperature/>

L. Pieltain Fernández, T. G. S. Román, R. Cossent, C. M. Domingo, and P. Frías, “Assessment of the impact of plug-in electric vehicles on distribution networks,” *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 26, no. 1, February 2011, pp. 206-2013. Plataforma de Electromovilidad, 2024. Políticas, estrategias de electromovilidad en Chile. <https://energia.gob.cl/electromovilidad/orientaciones-de-politicas-publicas>

Moraga, E. (2020, February 9). Zonas centro y nororiente concentran el 84 % de la congestión crítica en Santiago. *La Tercera*. <https://www.latercera.com/pulso/noticia/zonas-centro-nororiente-concentran-84-la-congestion-critica-santiago/462923/#>.

Vani, B. V., Kishan, D., Ahmad, M. W., & Reddy, C. (2023). An efficient optimization algorithm for electric vehicle routing problem. *IET Power Electronics* (Print). <https://doi.org/10.1049/pel2.12555>

Wang, T., Cassandras, C. G., & Pourazarm, S. (2014). Energy-aware vehicle routing in networks with charging nodes. *IFAC Proceedings Volumes*, 47(3), 9611-9616. <https://doi.org/10.3182/20140824-6-ZA-1003.00814>