



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

Informe 2

Minimizar la potencia necesitada por las
zonas de la Región Metropolitana

Grupo 35

Marcelo Castro Solares, 21208409, sección 2
Andrés Labra Poblete 18625975, sección 2
Constanza Loyola Orellana, 22205365, sección 2
Martín Poblete Rojas, 21640181, sección 2
Tomás Saldías Salinas, 23213205, sección 2

Fecha entrega: 07 de mayo de 2024

Índice

1. Introducción	3
1.1. Contexto	3
1.2. Problema	4
1.3. Beneficios de resolver el problema	4
2. Tomador de decisiones	4
3. Modelación del problema	5
3.1. Resumen	5
3.2. Conjuntos	5
3.3. Supuestos	5
3.4. Variables	5
3.5. Parámetros	6
3.6. Restricciones	6
4. Función objetivo	8

1. Introducción

1.1. Contexto

Chile es un país en vías de desarrollo, esto conlleva una serie de desafíos para lograr avanzar a ser un país más sustentable, siendo uno de los más relevantes, el de lograr reducir sus emisiones de contaminación. Existen actualmente diversos focos de contaminación en Chile, como lo son la actividad minera, la explotación pesquera y la industria en general; siendo los combustibles fósiles uno de los factores que más afecta en la contaminación. Es por esto que a finales del 2023 representantes de Chile participaron en la COP28, donde se aprobó la eliminación de los combustibles fósiles en los sistemas energéticos para el 2050. Como consecuencia de esto, se espera lograr una mayor gestión para la obtención, guardado y distribución de energía.

Con el objetivo de descontaminar el medioambiente, el Gobierno ha iniciado una serie de pasos para lograr la carbono neutralidad. Es por esto que junto al Ministerio de Energía (2021)[6] anuncian el lanzamiento de la Estrategia Nacional de Electromovilidad. Este compromiso tiene como objetivo eliminar los combustibles fósiles en Chile para el año 2035. Con esto, en 2035 el mercado automotriz solo transará vehículos eléctricos, para finalmente, en el año 2050, unirse como país al compromiso de carbononeutralidad.

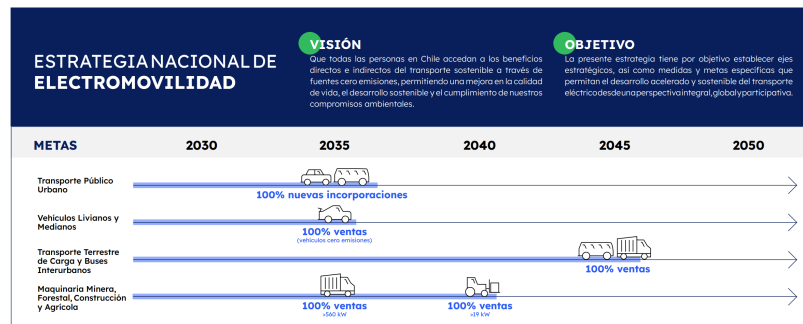


Figura 1: Visión y Objetivo del plan.

El plan cuenta con enfoque en 4 ejes, los cuales incluye medios de transporte sustentable y financiamiento, infraestructura de carga y regulación, investigación y capital humano y difusión, información y articulación.

Llevando esto al enfoque de la temática del proyecto, se trabajará con el segundo eje: Infraestructura de carga y regulación. A Agosto del 2021, el país cuenta con específicamente 297 puntos de carga públicos (Soler, 2021) [6].

El lanzamiento de este proyecto implica una serie de desafíos y una complejidad al sistema eléctrico y sobre todo, al mercado automotriz, ya que la distribución de la carga de dichos vehículos debe ser la suficiente para satisfacer la demanda que existirá en ese entonces.

Según Derco [8], se estima que para el año actual (2024) habrán cerca de 81 mil vehículos eléctricos en circulación, para los cuales se necesitan 2300 electrolineras. La misma fuente, estima que para el 2050, año en donde se planea estar en la carbono neutralidad, estarán circulando cerca de 3 millones de vehículos eléctricos, sin embargo, para esta cifra se espera un déficit de 130 mil estaciones de carga, lo cual es una cifra bastante alta.

Las electrolineras son simplemente estaciones de carga para vehículos eléctricos, al igual que en una gasolinera o estación de servicio tradicional, en las electrolineras se pueden cargar vehículos eléctricos. Estas cuentan con 4 modos de carga, de los cuales uno es la carga rápida (Plaza, 2021) [7].

1.2. Problema

El problema de la demanda de los centros de carga para autos ya está presente, por lo tanto, es necesario preparar eficientemente la distribución de estos puntos, así como también la empresa debe tomar la decisión más factible para lograr un equilibrio entre gastos y eficiencia para el 2035 y hacia el futuro.

En general, al momento de comenzar proyectos de esta magnitud, la empresa encargada de la distribución de estos puntos debe considerar los diversos costos de los implementos que conllevan las electrolinerías tales como los distintos tipos de cargadores existentes en el mercado. Además de esto debe considerar la demanda solicitada para evitar congestiones en los distintos puntos de carga.

La empresa encargada de ubicar las electrolinerías en los distintos sectores de la región necesitará de un modelo capaz de optimizar la ubicación de las nuevas electrolinerías, de manera que se pueda satisfacer de la mejor manera posible la demanda solicitada por los usuarios de vehículos eléctricos y a su vez, el proyecto sea factible de realizar con los recursos disponibles de la empresa.

Existen diversas formas para apoyar el financiamiento de proyectos de esta índole, Santander menciona los presupuestos para la instalación de dichos centros de carga, los cuales van desde los 5 millones, hasta los 500 millones dependiendo la empresa, banco, tipo de proyecto y perfil de la empresa solicitante (Dorner, 2021) [3]

Además de los apoyos brindados por parte de las entidades bancarias, Corfo presenta diversas alternativas a lo mencionado anteriormente, entre ellas destacan los subsidios para la instalación, los cuales cubren un monto del costo final del proyecto [1], por otro lado, se tiene el plan para implementar el desarrollo de electromovilidad, en el cual Corfo brinda un aporte de hasta \$ 7 millones. [2]

1.3. Beneficios de resolver el problema

Uno de los evidentes beneficios que trae resolver este problema es, como se mencionó anteriormente, la reducción de la contaminación ambiental, el impacto que conlleva este proyecto es bastante positivo debido al uso de energías renovables, ya que la emisión de gases efecto invernadero (GEI) de un vehículo eléctrico es hasta 3 veces menos que la de un vehículo a combustión (Plaza, 2021)[7].

Por otro lado, una buena distribución de estos puntos facilitará la movilización de los usuarios, tránsito de distintos fines (hospitalario, seguridad, entre otros), tiempo de espera para la recarga y ahorro de recursos para los usuarios.

Otro beneficio que se tiene, es la reducción de la contaminación acústica, actualmente el Ministerio del Medio Ambiente[4], ha identificado que el ruido en los espacios al aire libre es de 70 a 90 (dB), mientras que la OMS recomienda en estos espacios no más de 55 dB, los vehículos eléctricos aportarían en esto ya que la energía electromagnética no produce emisiones de ruido.

Por último, las facilidades que se le otorgue a la inclusión masiva de los autos eléctricos tal como una mayor organización en las electrolinerías, no solo ayudaría a los puntos anteriores si no que también cambian el perfil del país a nivel global, tomando una cara sustentable, amigable con el medio ambiente e inclusiva.

2. Tomador de decisiones

El tomador de decisiones de este proyecto sería una empresa que busque encargarse de la distribución de energía eléctrica para los autos eléctricos en el año 2035.

3. Modelación del problema

3.1. Resumen

Para 2035, se espera que en el país todos los vehículos de las automotoras sean reemplazados por vehículos eléctricos con el objetivo de unirse al compromiso de carbononeutralidad, para ese tiempo existirá una demanda mucho mayor por cargadores eléctricos para vehículos, por lo que es importante optimizar la distribución de los puntos de carga para este periodo.

El objetivo del modelo es minimizar la potencia que necesitarían las comunas de la Región Metropolitana para el año 2035, teniendo en consideración los costos que cada electrolinera tiene, tomando en cuenta la necesidad de energía que tienen los usuarios de autos eléctricos.

La variable clave en el modelo, y lo que se quiere decidir es la cantidad de electrolineras que se construirán en cierto punto, considerando los tipos de electrolineras que existen, y sujeto a las condiciones de presupuesto, tiempo de demora y las electrolineras ya construidas en otros puntos.

Para lograr esto, se llevará a cabo una modelación que permitirá minimizar la potencia necesitada en las distintas zonas de la region, para lograr satisfacer la mayor cantidad de demanda existente.

3.2. Conjuntos

- $I = i \in \{1, \dots, I\}$: cantidad de comunas en la región.
- $J = j \in \{1, \dots, J\}$: tipos de electrolineras.
- $T = t \in \{1, \dots, T\}$: días en los 10 años de construcción.
- $K = k \in \{1, \dots, K\}$: cantidad de insumos.
- $E_i = e \in E_i$: zonas de la comuna i, cuando se comparen distintas zonas se utilizará ϵ para referirse a una zona distinta a e ($\epsilon \in E_i$).
- $Z_{ie} = z \in \{1, \dots, Z_{ie}\}$: terrenos disponibles para construcción de la zona e de la comuna i.

3.3. Supuestos

- Existe una única bodega que guarda todo el inventario de los insumos y no tiene costos de almacenamiento.
- La empresa posee una cantidad finita de trabajadores a su disposición para realizar la construcción de las electrolineras.
- El sueldo de los trabajadores se considera como un costo hundido, puesto que al ser empleados de la empresa, esta siempre debe estar pagando su sueldo.
- La empresa no posee electrolineras construidas previo al comienzo del proyecto

3.4. Variables

- X_{jiet} : cantidad de electrolineras tipo j que se comienzan a construir en el terreno z de la zona e perteneciente a la comuna i en el tiempo t.
- W_{iet} : trabajadores activos en la zona e de la comuna i en el día t.
- Y_{jiet} : variable binaria que indica si esta permitida o no la construcción de las electrolineras tipo j en el terreno z de la zona e perteneciente a la comuna i en el tiempo t.
- N_t : dinero disponible de la empresa en el día t.

- L_{kt} : cantidad de insumos k comprados en el día t.
- I_{kt} : cantidad de insumo k guardado el día t.
- $T_{jiez t}$: cantidad de electrolineras tipo j del terreno z en la zona e de la comuna i terminadas en el día t.
- PN_{iet} : potencia necesitada en la zona e de la comuna i el día t.

3.5. Parámetros

- P_j : potencia que entrega la electrolinera tipo j.
- α : capital inicial.
- $C_{jiez t}$: costo de construir la electrolinera de tipo j en el terreno z de la zona e de la comuna i.
- NE_{jie} : mano de obra necesaria para hacer la electrolinera j en la zona e de la comuna i.
- TD_{jiez} : tiempo de construcción de la electrolinera j en el terreno z de la zona e perteneciente a la comuna i.
- F_{ie} : flujo de autos en la zona e de la comuna i (se mide en autos/horas).
- CI_{kt} : costo del insumo k en el día t.
- CN_k : cantidad máxima de insumos k que puede contener la bodega.
- $G_{jiez t}$: ganancia generada por electrolinera j en el terreno z de la zona e perteneciente a la comuna i en el día t.
- NI_{jk} : cantidad necesaria de insumos k para construir la electrolinera j.
- TE : trabajadores de la empresa
- M : constante lo suficientemente grande (big M).
- β_{ee} : porcentaje de influencia de una zona e a e . ($0 < \beta \leq 1$)
- $A_{ee} = \begin{cases} \beta_{ee} & : \text{si } e_i \text{ es adyacente a } e_i \\ 0 & : \text{en otro caso} \end{cases}$
- ED_{iez} : espacio disponible del terreno z en la zona e perteneciente a la comuna i (se mide en m^2).
- E_j : espacio que requiere una electrolinera j (se mide en m^2).
- EP : energía promedio necesitada por auto (se mide en kwh/autos).

3.6. Restricciones

1. No hay electrolineras terminadas el primer día.

$$T_{jiez 1} = 0 \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \forall e \in E_i, \forall z \in Z_{ie}$$

2. La cantidad de electrolineras j empezadas en el espacio z de la zona e de la comuna i que son empezados el día t estarán terminadas el día t.

$$T_{jiez}(t+TD_{jiez}) = X_{jiez t} \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \forall e \in E_i, \forall z \in Z_{ie}, \forall t \in \{1, \dots, T-TD_{jiez}\}$$

3. El dinero disponible al final del primer día es el capital inicial menos los costos de las construcciones iniciadas y de los insumos comprados.

$$N_1 = \alpha - \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^{E_i} \sum_{z=1}^{Z_{ie}} \sum_{j=1}^J C_{jiez1} X_{jiez1} - \sum_{k=1}^K C I_{k1} L_{k1}$$

4. El dinero disponible cualquier día es igual al capital del día anterior, más las ganancias de las electrolineras activas, menos los costos de construcción y costos de los insumos gastados ese día.

$$N_t = N_{t-1} + \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^{E_i} \sum_{z=1}^{Z_{ie}} \left(G_{jiez t} \sum_{t'=1}^t T_{jiez t'} - C_{jiez t} X_{jiez t} \right) - \sum_{k=1}^K C I_{kt} L_{kt} \quad \forall t \in \{2, \dots, T\}$$

5. La cantidad de insumos guardados el primer día será igual a la cantidad comprada menos la cantidad ocupada en las construcciones empezadas.

$$I_{k1} = L_{k1} - \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^{E_i} \sum_{z=1}^{Z_{ie}} N I_{jk} X_{jiez1} \quad \forall k \in \{1, \dots, K\}$$

6. La cantidad de insumos guardados cualquier día cumplirá que:

$$I_{kt} = I_{kt-1} + L_{kt} - \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^{E_i} \sum_{z=1}^{Z_{ie}} N I_{jk} X_{jiez t} \quad \forall k \in \{1, \dots, K\}, \forall t \in \{2, \dots, T\}$$

7. La cantidad de insumos k guardados no puede sobrepasar la capacidad de la bodega.

$$C N_k \geq I_{kt} \quad \forall k \in K, \forall t \in T$$

8. La potencia necesitada antes de empezar el proyecto es igual al flujo de autos por la energía promedio que necesita un auto para funcionar.

$$P N_{ie0} = F_{ie} \cdot EP$$

9. La potencia necesitada en la zona e de la comuna i para un día, debe ser igual a la necesitada el día anterior menos la potencia que generaran las electrolineras que se comenzaron a construir y menos el efecto de las electrolineras que se comenzaron a construir en zonas adyacentes a esta.

$$P N_{iet} = P N_{iet-1} - \left(\sum_{j=1}^J \sum_{t'=1}^t \sum_{z=1}^{Z_{ie}} X_{jiez t'} \cdot P_j \right) - \left(\sum_{j=1}^J \sum_{t'=1}^t \sum_{\epsilon=1}^{E_i} \sum_{z=1}^{Z_{i\epsilon}} A_{ie\epsilon} \cdot X_{jiez t'} \cdot P_j \right) \quad \forall i \in I, \forall e, \epsilon \in E_i \mid \epsilon \neq e, \forall t \in T$$

10. Estará permitido construir siempre y cuando la construcción alcance a estar lista para el final del tiempo del proyecto

$$Y_{jiez t} \leq \max(0, |T| + 1 - t - T D_{jie}) \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \forall e \in E_i, \forall z \in Z_{ie}, \forall t \in T$$

11. Se pueden empezar proyectos siempre y cuando este permitido construir

$$X_{jiez t} \leq M Y_{jiez t} \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \forall e \in E_i, \forall z \in Z_{ie}, \forall t \in T$$

12. La cantidad de trabajadores en las construcciones, que posee la empresa, un día t será igual a la cantidad necesitada en los proyectos activos ese día

$$\sum_{j=1}^J N E_{jiet} \left(\sum_{t'=1}^t \sum_{z=1}^{Z_{ie}} X_{jiez t'} - T_{jiez t'} \right) = W_{iet} \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \forall e \in E_i, \forall z \in Z_{ie}$$

13. La cantidad de trabajadores activos entre todas las zonas de todas las comunas no puede superar a la cantidad de trabajadores que dispone la empresa

$$\sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^{E_i} W_{iet} \leq TE \quad \forall t \in T$$

14. El espacio utilizado por las electrolineras no puede superar al espacio en que está permitido construir

$$\sum_{t'=1}^t \sum_{j=1}^J E_j \cdot X_{jiet'} \leq ED_{iez} \quad \forall i \in I, \forall e \in E_i, \forall z \in Z_{ie}$$

15. Naturaleza de las variables

- $X_{jiet} \in \mathbb{Z}_0^+$ $\forall j \in J, \forall i \in I, \forall e \in E_i, \forall z \in Z_{ie}, \forall t \in T$
- $W_{iet} \in \mathbb{Z}_0^+$ $\forall t \in T$
- $Y_{jiet} \in \{0, 1\}$ $\forall j \in J, \forall i \in I, \forall e \in E_i, \forall z \in Z_{ie}, \forall t \in T$
- $N_t \in \mathbb{Z}_0^+$ $\forall t \in T$
- $L_{kt} \in \mathbb{Z}_0^+$ $\forall k \in K, \forall t \in T$
- $I_{kt} \in \mathbb{Z}_0^+$ $\forall k \in K, \forall t \in T$
- $T_{jiet} \in \mathbb{Z}_0^+$ $\forall j \in J, \forall i \in I, \forall e \in E_i, \forall z \in Z_{ie}, \forall t \in T$
- $PN_{iet} \in \mathbb{Z}_0^+$ $\forall i \in I, \forall e \in E_i, \forall t \in T$

4. Función objetivo

La función objetivo aspira optimizar la potencia que las electrolineras entregan a las distintas zonas de las comunas. Por lo que se busca minimizar la potencia necesitada por todas las zonas de todas las comunas para el final del periodo, de manera que se logre satisfacer lo más posible la demanda de las comunas para el día T.

$$\min. \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^{E_i} PN_{ieT}$$

Referencias

- [1] Acuerdo público privado de Electromovilidad. (2020). https://energia.gob.cl/electromovilidad/img/Compromiso_Electromovilidad_2020_con_firmas.pdf
- [2] Acuerdo público privado de Electromovilidad. (2022). https://energia.gob.cl/electromovilidad/img/Acuerdo%20Pu%CC%81blico%20Privado%20Electromovilidad%202022_1%20.pdf
- [3] Análisis de costos de infraestructura de carga para vehículos eléctricos en Chile. (2021). https://www.ecomovilidad.cl/wp-content/uploads/2021/02/Informe-2_Analisis-de-Costos_v0202.pdf
- [4] Beneficios de la Electromovilidad. <https://energia.gob.cl/electromovilidad/introduccion/beneficios-de-la-electromovilidad>
- [5] Costo promedio para instalar infraestructura de carga en Chile llega a los \$77 millones - Negocios e industrias. <https://www.electromov.cl/2022/01/12/costo-promedio-para-instalar-infraestructura-de-carga-en-chile-llega-a-los-77-millones/>
- [6] Estrategia Nacional de Electromovilidad. (2021). https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/estrategia_nacional_de_electromovilidad_2021_0.pdf
- [7] Qué es una electrolinera y cómo funciona. (2021). <https://www.motor.es/que-es/electrolinera>
- [8] La utilidad de los puntos de carga para autos eléctricos en Chile <https://www.derco.cl/comunicaciones/puntos-carga-autos-electricos-en-chile>