Investigación de Operaciones

Laboratorio 3: Ejemplos en Pyomo

Prof. Fernando García

Ingeniería Civil Industrial,
Departamento de Ingeniería Industrial,
Universidad de Santiago de Chile

5 de mayo de 2025

Outline

Programación y Asignación

Problemática

Problematica:

Después de los incendios en Valparaíso, se establecieron diversas zonas para acoger a las familias damnificadas. Además, se creó una zona central destinada a recibir y distribuir donaciones y recursos proporcionados por la comunidad y el gobierno. Desde esta zona central, se distribuyen diariamente recursos a las distintas zonas afectadas. Sin embargo, la cantidad de vehículos de transporte es limitada y, debido a la geografía y las secuelas del incendio, los tiempos de traslado son extensos. Esto impide que en un solo día se puedan visitar todas las zonas y entregar todos los productos necesarios. Asimismo, los vehículos tienen una capacidad limitada para transportar los productos.

No visitar una zona o no entregar un producto requerido tiene una penalización que afecta el bienestar de las personas damnificadas. En este contexto de emergencia, se requiere un modelo de optimización que permita conocer la programación semanal de visitas, con el fin de llegar al mayor número posible de familias y minimizar las entregas no realizadas o las zonas no visitadas.

Programación y Asignación

Formulación

Conjuntos

- $i \in \mathcal{A}$: Set de Camiones.
- $j \in \mathcal{B}$: Set de Zonas.
- $t \in \mathcal{T}$: Set de Tiempo.
- $l \in \mathcal{C}$: Set de Productos.

Parámetros

- V_l: Volumen del producto l $[m^3]$.
- CNP_l: Costo de no entregar el producto l [$]
- $Dd_{j,l,t}$: Demanda diaria de la zona j de producto l en el tiempo t [Unidades]
- CC_i: Capacidad del vehículo i $[m^3]$
- ZNV_j: Costo de no visitar la zona j [$]
- TV_j: Tiempo en visitar la zona j [min]

Programación y Asignación

Formulación

Variables

- $x_{i,j,t}$: 1 si el camión i visita la zona j en el tiempo t, 0 en otro caso.
- $y_{j,t}$: 1 si la zona j no se visita en el tiempo t, 0 en otro caso.
- $z_{l,j}^{i,t}$: Cantidad del producto l asignado al camión i para entregar en la zona j en el tiempo t.
- $w_{t,j,l}$: Cantidad del producto l no entregado en la zona j en el periodo t.
- $d_{j,l,t}$: Demanda de la zona j del producto l en el periodo t.

Programación y Asignación

Formulación

Función Objetivo

$$\text{minimize} \;\; z = \sum_{j \in \mathcal{B}} \sum_{t \in \mathcal{T}} y_{j,t}(ZNV_j) + \sum_{t \in \mathcal{T}} \sum_{j \in \mathcal{B}} \sum_{l \in \mathcal{A}} w_{t,j,l}(CNP_l)$$

Programación y Asignación

Formulación

Restricciones

Tiempo Visita	$\sum_{j\in\mathcal{B}} x_{i,j,t} TV_j \leq T^{max}$	$\forall i \in \mathcal{C}, \forall t \in \mathcal{T}$
Demanda 1	$d_{j,l,t} = Dd_{j,j,t} + w_{t-1,j,l}$	$\forall j \in \mathcal{B}, \forall l \in \mathcal{A}, \forall t \in \mathcal{T}$
Demanda 2	$\sum_{i\in\mathcal{C}} z_{l,j}^{i,t} + w_{t,j,l} = d_{j,l,t}$	$\forall j \in \mathcal{B}, \forall l \in \mathcal{A}, \forall t \in \mathcal{T}$
Visitas 1	$\sum_{i\in\mathcal{C}} \sum_{j\in\mathcal{B}} x_{i,j,t} + \sum_{j\in\mathcal{B}} y_{j,t} = Z^{Total}$	$\forall t \in \mathcal{T}$
Capacidad Camión	$\sum_{l\in\mathcal{A}} \sum_{j\in\mathcal{B}} z_{l,j}^{i,t} V_l \leq CC_i$	$\forall i \in \mathcal{C}, \forall t \in \mathcal{T}$
Visitas 2	$\sum_{l\in\mathcal{A}} z_{l,j}^{i,t} \leq M x_{i,j,t}$	$\forall i \in \mathcal{C}, \forall j \in \mathcal{B}, \forall t \in \mathcal{T}$
Visita Obligatoria	$\sum_{j\in\mathcal{B}} x_{i,j,t} \geq 1$	$\forall i \in \mathcal{C}, \forall t \in \mathcal{T}$
Solo un Camión	$\sum_{i\in\mathcal{C}} x_{i,j,t} + y_{j,t} = 1$	$\forall j \in \mathcal{B}, \forall t \in \mathcal{T}$

Outline

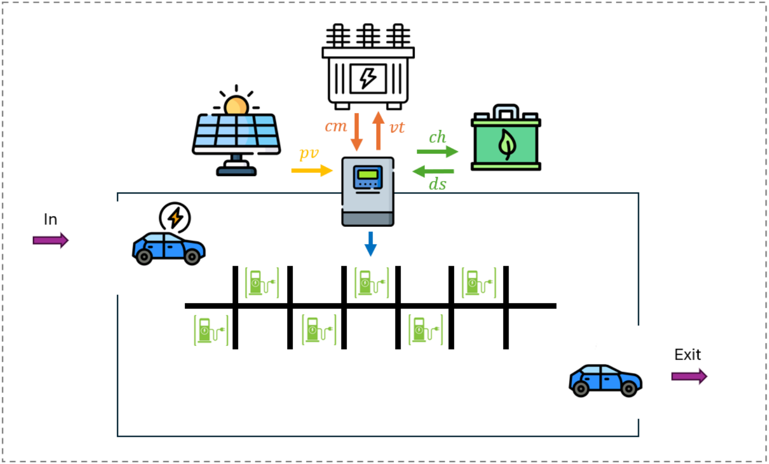
Estacionamiento de Vehículos Eléctricos

Problemática

- Un conocido centro comercial de Santiago está evaluando la opción de instalar cargadores para vehículos eléctricos (VE) en una sección de su estacionamiento. Con el propósito de adoptar un enfoque sustentable y de energía limpia, el objetivo es que una gran parte de la energía utilizada para cargar los VE provenga de fuentes renovables. Para esto, el centro ha implementado paneles solares y un sistema de almacenamiento de energía.
- En este contexto, se ha contactado a una empresa tecnológica para desarrollar un modelo de optimización que permita gestionar de manera eficiente la carga de los VE a través del inversor. El objetivo del modelo es identificar los momentos óptimos para inyectar energía desde los paneles solares, así como decidir cuándo cargar o descargar la batería de almacenamiento. Asimismo, el sistema deberá determinar las condiciones óptimas para la compra de energía de la red y la venta del excedente, priorizando la minimización de costos, ya que el precio de venta de la energía sobrante es significativamente menor que el precio de compra.
- Adicionalmente, se espera que el sistema integre la información proporcionada por los usuarios al momento de conectar sus vehículos, como la hora de salida planificada y el estado de carga mínimo requerido al desconectar el VE.
- Se solicita modelar y programar un problema de optimización para instalar en el inversor que permita la operación del estacionamiento de forma eficiente y económica, maximizando el uso de energía renovable y minimizando los costos de operación.

Estacionamiento de Vehículos Eléctricos

Esquema

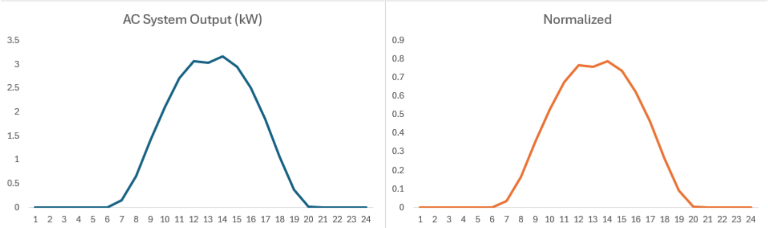


Estacionamiento de Vehículos Eléctricos

Preliminar - Panel Solar

Representación de un Panel Solar:

$$p_t^{pv} \leq Cap_{pv} * I_t$$



p_t^{pv} :	Potencia inyectada por el Panel al sistema [W]
Cap_{pv} :	Capacidad instalada [W]
I_t :	Irradiancia [W/m^2]

Estacionamiento de Vehículos Eléctricos

Preliminar - Batería

Representación de la operación de un sistema de almacenaje de energía.

$$soc_t = soc_{t-1} + [\varphi^{ch} ch_t - \frac{1}{\varphi^{ds}} ds_t]\Delta t \qquad \forall t \in \mathcal{T}$$

$$SOC^{min} Cap^{bt} \leq soc_t \leq SOC^{max} Cap^{bt} \qquad \forall t \in \mathcal{T}$$

$$ch_t \leq PB(w_t) \qquad \forall t \in \mathcal{T}$$

$$ds_t \leq PB(1 - w_t) \qquad \forall t \in \mathcal{T}$$

Donde:

soc_t	Estado de Carga en el tiempo t [Wh]
ch_t	Potencia cargada en la batería en el tiempo t [W]
ds_t	Potencia descargada de la batería en el tiempo t [W]
w_t	1 si la batería descarga, 0 otro caso.
PB	Potencia máxima de carga/descarga
Cap^{bt}	Capacidad de la batería [kWh]
SOC^{min}	Estado de carga mínimo [%]
SOC^{max}	Estado de carga máximo [%]
φ	Eficiencia de carga/descarga [%]

Estacionamiento de Vehículos Eléctricos

Preliminar - Vehículo Eléctrico

Representación simple de un Vehículo Eléctrico (VE)

$$soc_t = SOC^{init} * Cap^{ve} * PC_t(PC_t - PC_{t-1}) + soc_{t-1} + \varphi^{ch} ch_t \Delta t \qquad \forall t \in \mathcal{T}$$

$$SOC_t^{min} Cap^{ve} PC_t \leq soc_t \leq SOC_t^{max} Cap^{ve} \qquad \forall t \in \mathcal{T}$$

$$ch_t \leq PB * PC_t \qquad \forall t \in \mathcal{T}$$

Donde:

soc_t	Estado de Carga en el tiempo t [Wh]
ch_t	Potencia cargada del VE en el tiempo t [W]
PC_t	Perfil de conexión del VE en el tiempo t
PB	Potencia máxima de carga/descarga
Cap^{ve}	Capacidad de la batería del VE[kWh]
SOC_t^{min}	Estado de carga mínimo en el tiempo t [%]
SOC_t^{max}	Estado de carga máximo en el tiempo t [%]
φ	Eficiencia de carga/descarga [%]

Estacionamiento de Vehículos Eléctricos

Formulación

Función Objetivo

$$\text{minimize} \;\; z = \sum_{t \in \mathcal{T}} (\lambda^{cm} cm_t - \lambda^{vt} vt_t)$$

Restricciones Batería

$$soc_t = soc_{t-1} + \left[\varphi^{ch} ch_t - \frac{1}{\varphi^{ds}} ds_t\right] \Delta t \qquad \forall t \in \mathcal{T}$$

$$SOC^{\text{mín}} Cap^{bt} \leq soc_t \leq SOC^{\text{máx}} Cap^{bt} \qquad \forall t \in \mathcal{T}$$

$$ch_t \leq PB \cdot w_t \qquad \forall t \in \mathcal{T}$$

$$ds_t \leq PB \cdot (1 - w_t) \qquad \forall t \in \mathcal{T}$$

Estacionamiento de Vehículos Eléctricos

Formulación

Restricciones VEs

$$soc_{i,t} = SOC^{\text{mín}}_{i,t} \cdot Cap^{vc} \cdot PC_{i,t}(PC_{i,t} - PC_{i,t-1}) + soc_{i,t-1} + \varphi^{ch} ch^{ev}_{i,t} \Delta t \qquad \forall t \in \mathcal{T}, \forall i \in \mathcal{N}$$

$$SOC^{\text{mín}}_{i,t} \cdot Cap^{vc} \cdot PC_{i,t} \leq soc_{i,t} \leq SOC^{\text{máx}}_{i,t} \cdot Cap^{vc} \qquad \forall t \in \mathcal{T}, \forall i \in \mathcal{N}$$

$$ch^{ev}_{i,t} \leq PB \cdot PC_{i,t} \qquad \forall t \in \mathcal{T}, \forall i \in \mathcal{N}$$

PV y Balance

$$p^{pv}_t \leq Cap_{pv} \cdot I_t \qquad \forall t \in \mathcal{T}$$

$$p^{pv}_t - \sum_{n \in \mathcal{N}} ch^{ev}_{i,t} + cm_t - vt_t + ds_t - ch_t = 0 \qquad \forall t \in \mathcal{T}$$