

Optimización de Rutas y Análisis de Sostenibilidad en Autobuses Eléctricos Urbanos

Autoría

Chakhoyan Grigoryan, Razmik

Correo: chakhoyanrazmik@gmail.com

LinkedIn:

<https://www.linkedin.com/in/chakhoyanrazmik>

Menéndez Sales, Pablo

Correo: pablomenendezsales@gmail.com

LinkedIn:

<https://www.linkedin.com/in/pablo-m-sales>

Descripción del problema:

En este datathon, los participantes se enfrentan al desafío de optimizar el uso de autobuses eléctricos en una ruta realista de una ciudad simulada, utilizando para ello un simulador que emplea datos de la ruta y modelos dinámicos de vehículos tanto eléctricos como de combustión. La ruta se describe mediante una secuencia de coordenadas GPS para cada punto de la misma. Cada punto de la ruta se acompaña de la altura sobre el nivel del mar y de las velocidades máximas permitidas. También se proporcionan las coordenadas de las paradas. El simulador realiza una estimación del flujo de pasajeros que suben y bajan a lo largo de cada ruta. Todos los datos mencionados se emplean para calcular la demanda energética del autobús a lo largo de una ruta y en condiciones de operación compatibles con las condiciones reales.

El núcleo del simulador es un modelo físico que calcula las velocidades y aceleraciones instantáneas del vehículo, de manera que sean compatibles con todas las restricciones, y estima la energía necesaria para completar la ruta. Se tienen en cuenta la resistencia a la rodadura y la resistencia aerodinámica, los arranques, las paradas, las pendientes y los cambios de velocidad. El mismo modelo calcula, para los autobuses con motor de combustión, el consumo de combustible y las emisiones de gases contaminantes como CO₂, CO, NO_x, etc. Por último, en los vehículos eléctricos se contempla el uso de frenado regenerativo.

Reto:

El objetivo del datathon es seleccionar, de entre una variedad de opciones, la configuración más económica y ambientalmente sostenible para operar autobuses eléctricos en múltiples rutas urbanas, equilibrando costo, eficiencia energética y sostenibilidad en un escenario de operación realista proporcionado por el simulador.

Parámetros de configuración:

- El primer parámetro que debe considerarse es la capacidad de la batería. Las baterías de mayor capacidad permiten una operación continua durante todo un día, sin recargas intermedias, aunque implican un mayor costo inicial y peso del vehículo. Por otro lado, las baterías de menor capacidad requieren una o más recargas diarias, por lo que podrían emplearse solamente en el caso de que se disponga de vehículos adicionales para

mantener el servicio mientras se realizan las recargas, añadiendo complejidad logística y costos operativos adicionales.

- Otro aspecto relevante en la gestión de la flota será la estrategia de carga de las baterías. El uso continuado de la batería en estados de carga extremos (muy bajos o muy altos) acelera su degradación. Económicamente, es más ventajoso mantener la batería operando entre el 20% y el 80% de su capacidad total, pero esta práctica limita la autonomía efectiva del vehículo, requiriendo un balance cuidadoso entre la durabilidad de la batería y las necesidades operativas.
- Adicionalmente, los concursantes deberán seleccionar la posición de los puntos de recarga. En este estudio, la economía de estas instalaciones depende su ubicación, siendo los puntos más alejados más eficientes, pero potencialmente menos accesibles. Este factor debe ser considerado al calcular el costo anual de operación del sistema de transporte, junto con el costo de las recargas de energía necesarias para operar los autobuses a lo largo de todos los trayectos realizados. En el modelo se calcula, de forma transparente para el usuario, el recorrido desde el punto de recarga al inicio de la ruta, por lo que solamente es necesario indicar el identificador del punto de recarga elegido.

El modelo permite especificar la capacidad de la batería dentro de un rango continuo, y también los valores mínimo y máximo del estado de carga de la batería.

Salidas del modelo:

En el caso de que se seleccione una capacidad demasiado baja, o un rango de cargas muy restrictivo, es posible que el autobús no pueda recorrer la ruta durante el tiempo solicitado. En este caso, el modelo añade automáticamente un segundo autobús a la simulación y devuelve el costo energético acumulado de ambos. De igual manera, el simulador no abortará los cálculos si la batería alcanza un nivel inferior al mínimo permitido, sino que devolverá en la respuesta el número de horas en que la carga de la batería es inferior al mínimo; este número debe ser cero en la solución del reto.

Los costes asociados a la operación y mantenimiento de la flota no se proporcionan explícitamente. Estos se calcularán por el usuario a partir de la respuesta del modelo, considerando el tiempo de amortización del autobús, que a su vez depende del ritmo de degradación de la batería. Para facilitar los cálculos, se considerará que un autobús queda amortizado cuando la salud de la batería sea un 75% de su salud inicial. El coste anual (simplificado) de operación del sistema de transporte se calculará, por tanto, multiplicando el número total de autobuses por el precio de cada uno, y dividiendo este producto por el número de años transcurridos desde su adquisición hasta que la salud de sus baterías se reduzca un 25% (hasta alcanzar el 75% mencionado). Al valor resultante se le debe añadir el importe de las recargas de energía eléctrica necesarias para realizar todos los trayectos realizados por los autobuses.

Finalmente, este reto no solo se enfoca en la viabilidad económica, sino también en la sostenibilidad ambiental. Esta puede cuantificarse mediante un término adicional en la función de coste, basado en la monetización de las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes de los autobuses propulsados por motores de combustión, las cuales se reducen o dejan de producirse en el vehículo eléctrico. Los participantes deberán tener en

cuenta el ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, valorando que las emisiones directas de los autobuses eléctricos son nulas, pero las centrales eléctricas que suministran la energía sí generan emisiones, dependiendo del mix energético de la región. El modelo no realiza esta monetización ni proporciona datos del mix de generación eléctrica, pero sí proporciona las emisiones de un autobús propulsado por un motor de combustión.

Aspectos técnicos:

Es recomendable contar con algún visor de archivos Markdown en el entorno de trabajo, para poder leer adecuadamente el archivo README.md. En el caso de usar Visual Studio Code, se recomienda instalar la extensión “Markdown Preview Enhanced”.

Los parámetros de entrada del modelo son:

1. **electric (bool):** Este parámetro indica si el modelo se ejecutará en un entorno de autobuses eléctricos (True) o de combustión interna (False). Dependiendo de su valor, se configuran otros parámetros específicos para los vehículos eléctricos, como la capacidad de la batería y la potencia del motor.
2. **name (str):** Nombre identificativo del modelo.
3. **filepath (str):** Ruta del archivo de datos. Este parámetro especifica la ubicación del conjunto de datos que se utilizará para alimentar el modelo.
4. **charging_point_id (int):** Identificador del punto de carga. En el contexto de autobuses eléctricos, este parámetro especifica el punto de carga que se utilizará para recargar las baterías durante la simulación.
5. **min_battery_charge (int):** Nivel mínimo de carga de batería (%). Este parámetro define el umbral mínimo de carga de la batería por debajo del cual se considera que el autobús necesita recargarse para continuar operando.
6. **max_battery_charge (int):** Nivel máximo de carga de batería (%). Define el límite superior de carga de la batería para evitar sobrecargas y optimizar los ciclos de carga.
7. **initial_capacity_kWh (int):** Capacidad inicial de la batería en kWh. Este parámetro especifica la capacidad total de la batería del autobús eléctrico al inicio de la simulación.
8. **n_days (int):** Número de días de la simulación. Este parámetro especifica la duración de la simulación en días, permitiendo evaluar el rendimiento y la sostenibilidad de los autobuses a lo largo de un período determinado.

Estos parámetros son configurados a través de la clase ModelConfig, que se encarga de establecer las propiedades iniciales del modelo antes de ejecutar la simulación.

La respuesta del modelo se devuelve mediante una variable de tipo diccionario y también se almacena en un fichero CSV, cuyos valores tienen la siguiente descripción:

- **consumption_Wh:** Este output representa el consumo total de energía en Wh (vatios-hora) durante la simulación. Indica la cantidad total de energía eléctrica consumida por los autobuses, lo cual es crucial para evaluar la eficiencia energética de los vehículos.
- **NOx_g, CO_g, HC_g, PM_g, CO2_g:** Estos outputs representan las emisiones totales de varios contaminantes:
 - **NOx_g:** Emisiones de óxidos de nitrógeno en gramos.
 - **CO_g:** Emisiones de monóxido de carbono en gramos.
 - **HC_g:** Emisiones de hidrocarburos no quemados en gramos.
 - **PM_g:** Emisiones de partículas (PM) en gramos.
 - **CO2_g:** Emisiones de dióxido de carbono en gramos.

En el caso de autobuses eléctricos, estos valores son cero, ya que no hay emisiones directas de gases contaminantes, por lo que hay que estimarlas como se ha sugerido anteriormente.

- **battery_degradation_%:** Este output indica el porcentaje de degradación de la batería durante la simulación. La degradación de la batería se refiere a la pérdida de capacidad de la batería a lo largo del tiempo y el uso. Un menor porcentaje de degradación es deseable, ya que prolonga la vida útil de la batería y reduce los costos de mantenimiento y reemplazo.
- **bus_cost:** Este output representa el costo total asociado con los autobuses durante la simulación, expresado en unidades monetarias.
- **consumption_cost:** Costo del consumo de energía, expresado en unidades monetarias. Este output refleja el gasto relacionado únicamente con la energía consumida por los autobuses eléctricos.
- **availability_time_s:** Tiempo total de disponibilidad del autobús principal en segundos. Este output mide el tiempo durante el cual el autobús asignado a la línea está disponible.
- **unavailability_time_s:** Tiempo total de no disponibilidad del autobús principal en segundos. Durante ese tiempo, será necesario asignar un segundo autobús a la línea. Este output mide el tiempo durante el cual los autobuses no estuvieron disponibles por estar cargando o de camino a cargar.
- **n_buses:** Número total de autobuses operativos en la simulación. Este output indica cuántos autobuses fueron necesarios en la simulación.
- **total_time_below_min_soc_s:** Tiempo total en segundos durante el cual la carga de la batería estuvo por debajo del nivel mínimo de carga especificado (min_battery_charge). Este output es crítico para evaluar la eficacia de la gestión de la carga y la disponibilidad de puntos de recarga a lo largo de la ruta, además de poder afectar negativamente a la degradación de la batería.

Entrega de resultados:

La solución del reto se entregará subiéndola a la carpeta privada asignada a cada participante y constará de un archivo comprimido con todo el código que llevó a la solución entregada (incluido el CSV con los resultados finales de la solución elegida) y un informe en PDF con detalles de

cómo se ha llegado a ella. La extensión máxima es de 5 páginas. No existe problema alguno en entregar menos de 5 páginas, ni se valorará positivamente que se entreguen 5.

En resumen, en el archivo comprimido, debes incluir un PDF que explique los parámetros que describen la solución propuesta. Además, el PDF debe contener:

- **Resultados del simulador:** Presenta los resultados obtenidos del simulador para los parámetros descritos.
- **Comparación de vehículos:** Compara estos resultados con los de vehículos de combustión interna que ofrecen el mismo servicio. Dado que el modelo no proporciona las emisiones del vehículo eléctrico, debes obtener esta información a partir de las propiedades del proveedor de energía.
- **Coste comparado:** Calcula el coste de los vehículos eléctricos en comparación con los de combustión interna a un horizonte de un año. Este cálculo debe incluir:
 - **Coste de adquisición** (aunque no se proporciona directamente, debe considerarse).
 - **Tiempo de amortización** del vehículo eléctrico, basado en la degradación predicha por el simulador para la solución propuesta.