

# Ruta Sustentable: Análisis de viabilidad de flotas vehiculares eléctricas

Williams R. Calderón Muñoz, Ph.D.

Noviembre, 2020



# Motivaciones generales

- Aumento de la oferta de electromovilidad (vehículos, cargadores, servicios, etc.)
- Necesidad de información para la toma de decisiones en la generación de políticas públicas
- Necesidad de información para:
  - Adopción de flotas eléctricas
  - Gestión energética y operacional de flotas eléctricas
  - Generación de nuevos modelos de negocios

# ¿Por qué es importante la Electromovilidad?

1. No hay emisiones vehiculares de CO<sub>2</sub> ni de otros contaminantes atmosféricos

2. Potencial reducción de carbono a través del uso de energías renovables

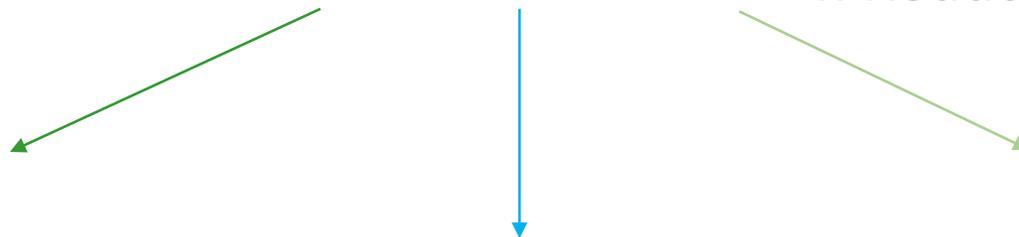
3. Eficiencia energética de 3 a 4 veces más eficiente que un auto convencional

4. Reducir la dependencia al petróleo

CLIMA

SALUD PÚBLICA

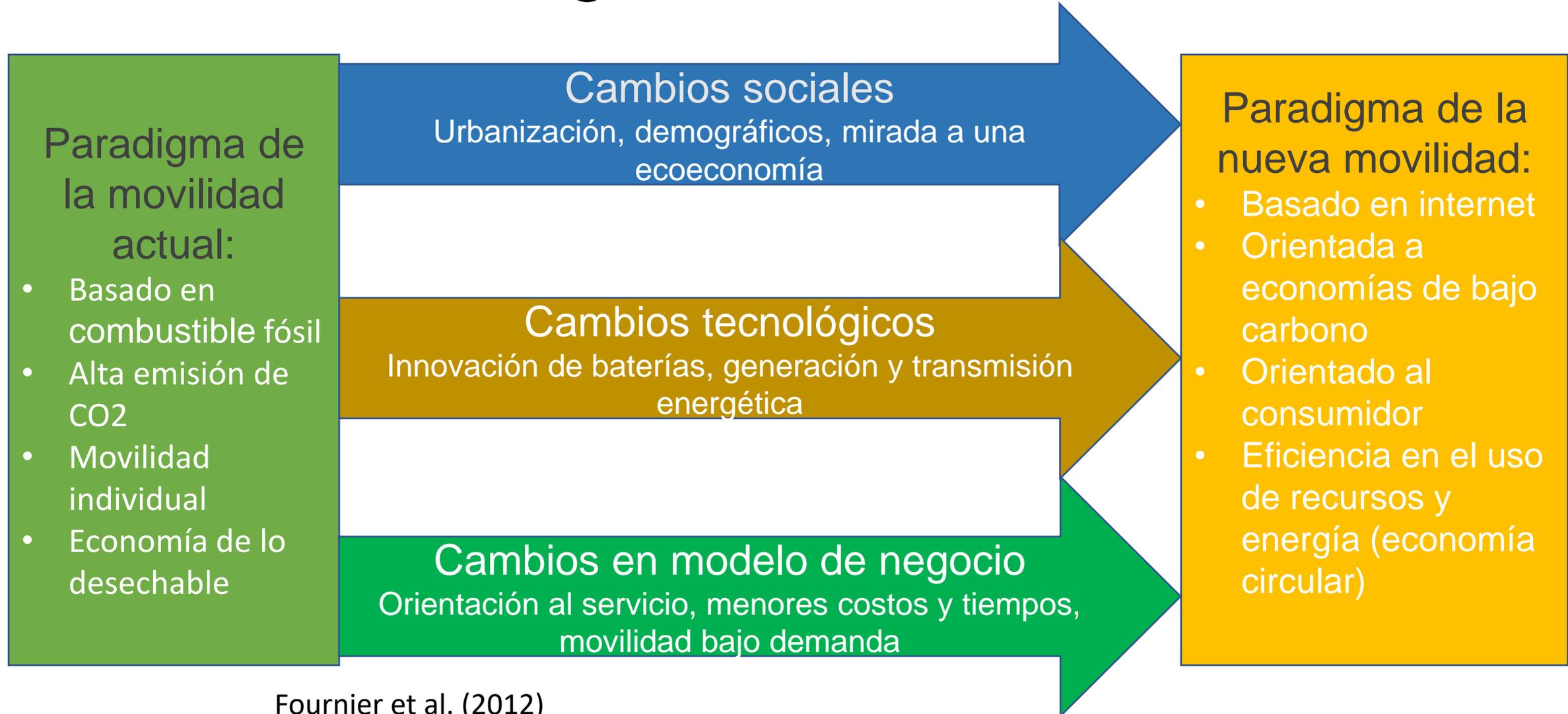
SEGURIDAD  
ENERGÉTICA



# Desafíos de la Electromovilidad: Presente y Futuro

- Metodología para evaluar distintas tecnologías de Electromovilidad
- Validación tecnológica
- Modelos de negocio
- Reciclaje baterías de Litio
- Segundo uso/vida de packs de baterías
- Manufactura avanzada de celdas, módulos y packs
- Infraestructura de carga integrada con energías renovables
- Operación de flotas → gestión energética + vida útil

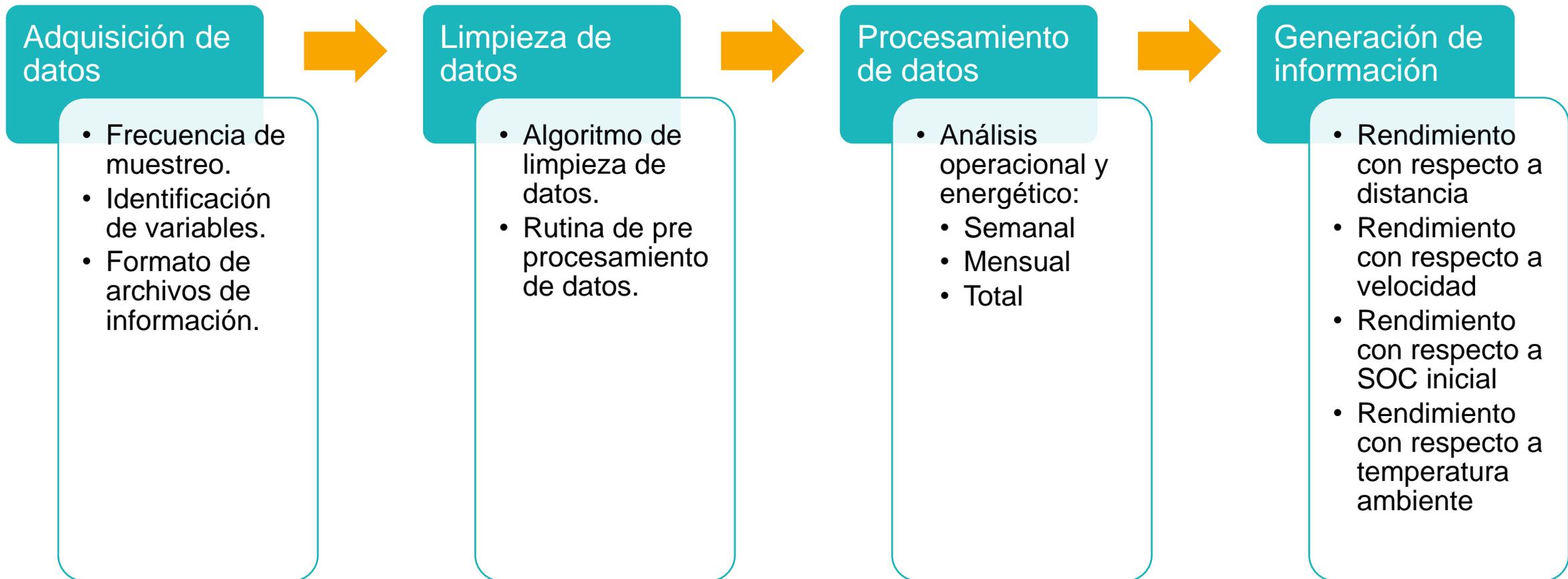
# Desafíos de la Electromovilidad: Modelos de Negocio



# Análisis de viabilidad: Objetivos

- Desarrollar una metodología para determinar la línea base del consumo energético y las características operacionales de una flota vehicular que permita comparar la eficiencia entre vehículos de combustión interna y vehículos eléctricos
- Generar información de casos reales donde sea aplicada la metodología para que permita la toma de decisiones para la conversión a la movilidad eléctrica
- Colaborar en la difusión de la experiencia de pilotos de flotas vehiculares que presente potencialidades de mayor eficiencia energética y operacional
- Generar información para el estado en base a la cual posteriormente pueda desarrollar y promover políticas públicas en la materia

# Análisis de viabilidad - Metodología general

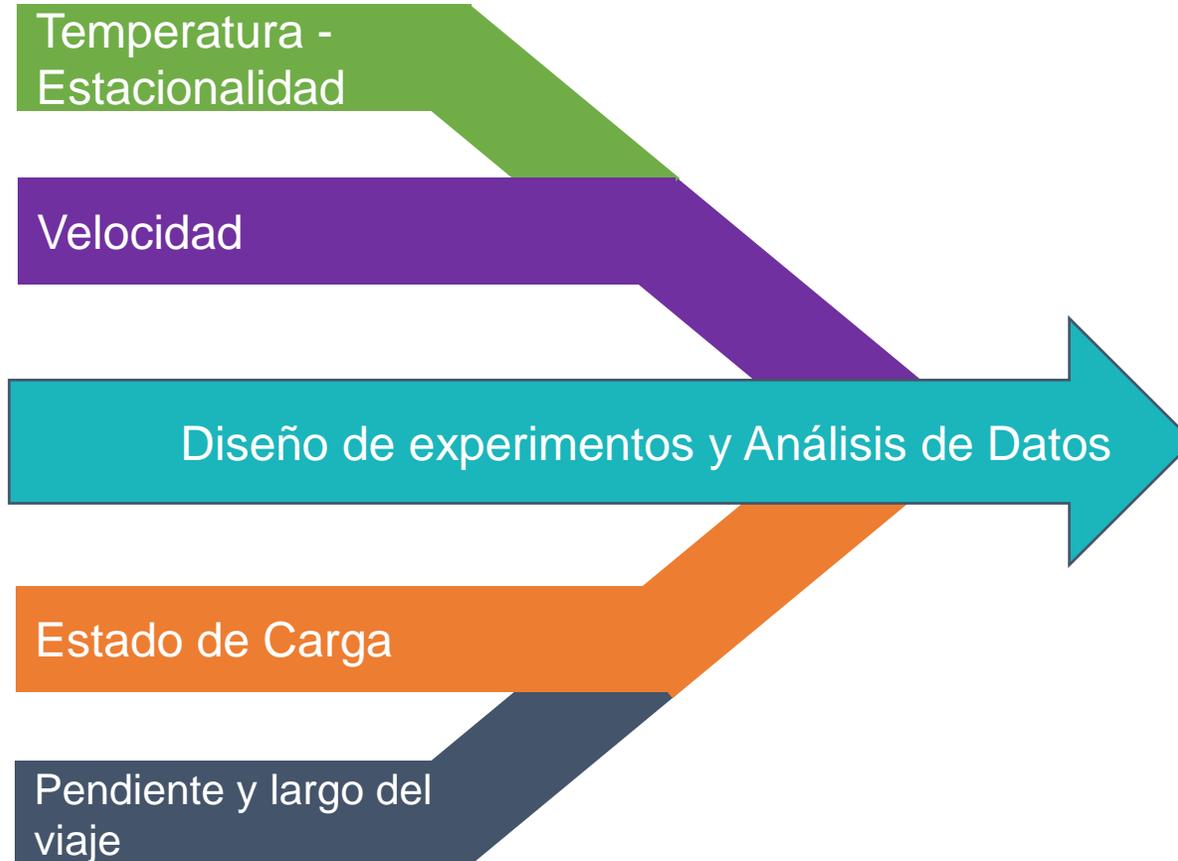


# Análisis de viabilidad - Selección de muestra

- 95% de confianza y 10% de error con base a tamaño flota Junio 2019
- Viajes se definen entre cargas y/o detenciones superiores a 25 minutos
- No se desglosan los consumos energéticos de componentes auxiliares
- Muestra de medición buses eléctricos
  - 40 buses eléctricos
  - Rutas fijas
  - Periodo Agosto 2019-Septiembre 2020
  - Frecuencia de adquisición de datos: cada 60 seg.
  - Rendimiento 1km/kWh es del orden de 10km/lt diesel
- Muestra de medición taxis eléctricos
  - 26 taxis eléctricos
  - Rutas variables y fijas
  - Periodo Enero 2020-Octubre 2020
  - Frecuencia de adquisición de datos: cada 8 seg.
  - Rendimiento 1km/kWh es del orden de 9km/lt bencina

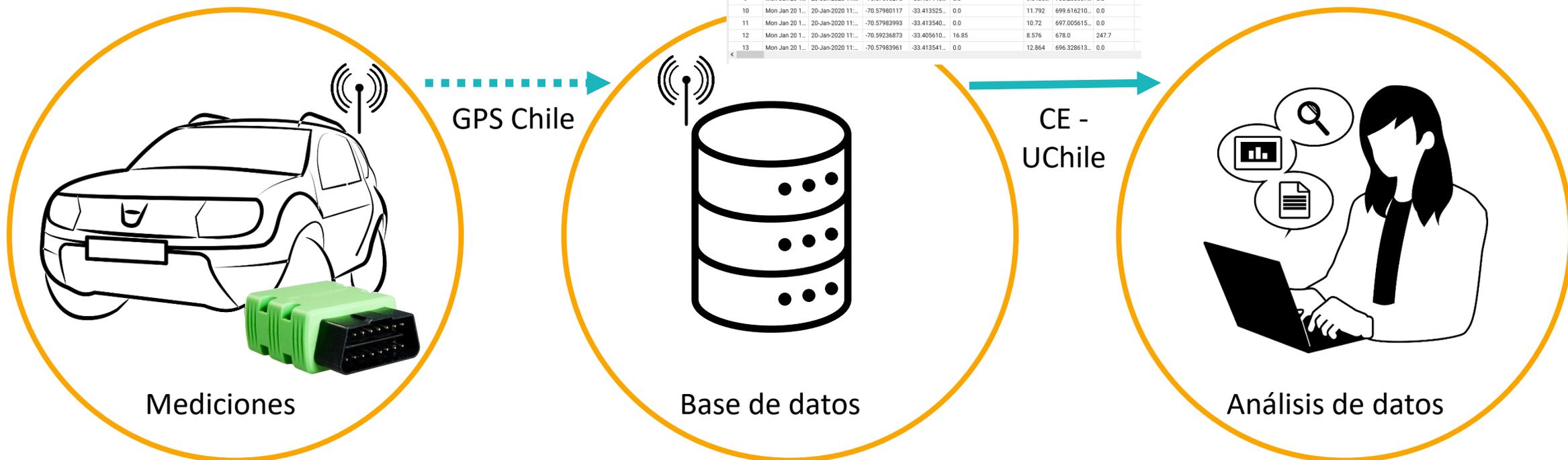


# Análisis de viabilidad - Adquisición de datos



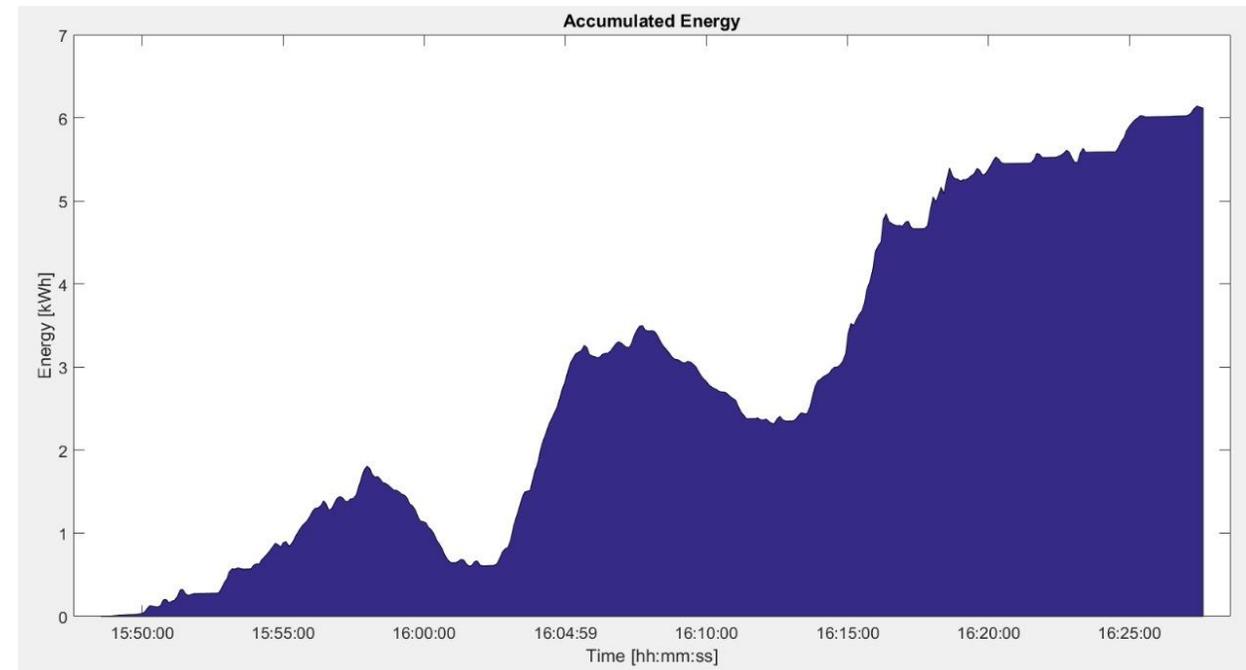
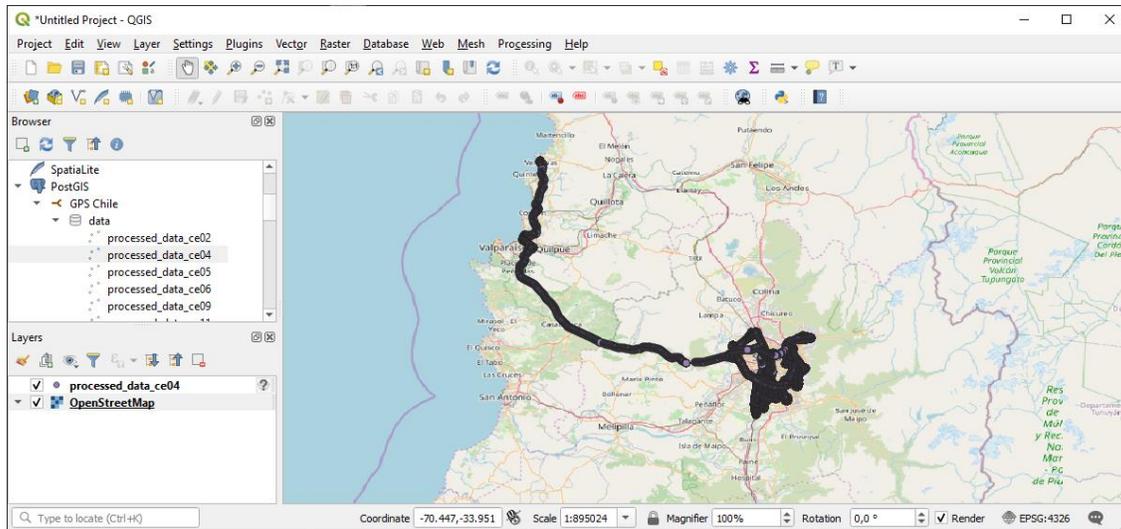
- Análisis de desempeño energético
- Dependencia del rendimiento con las variables de operación.

# Análisis de viabilidad - Implementación

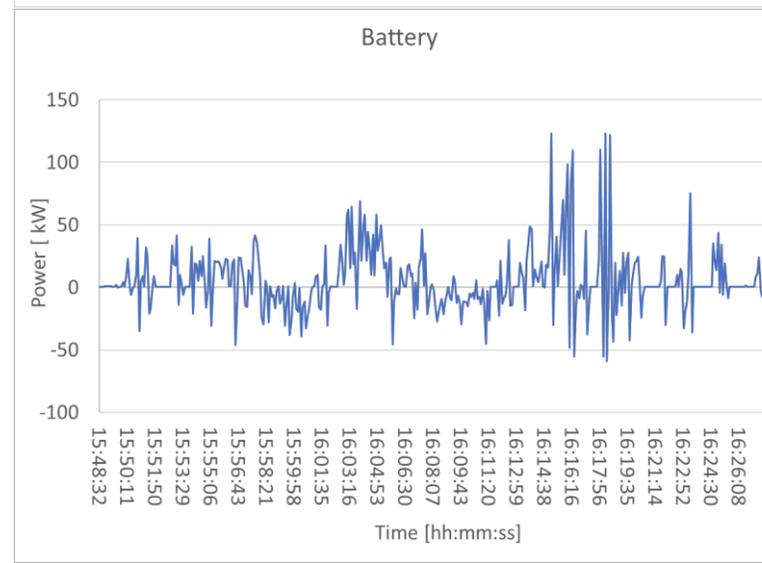
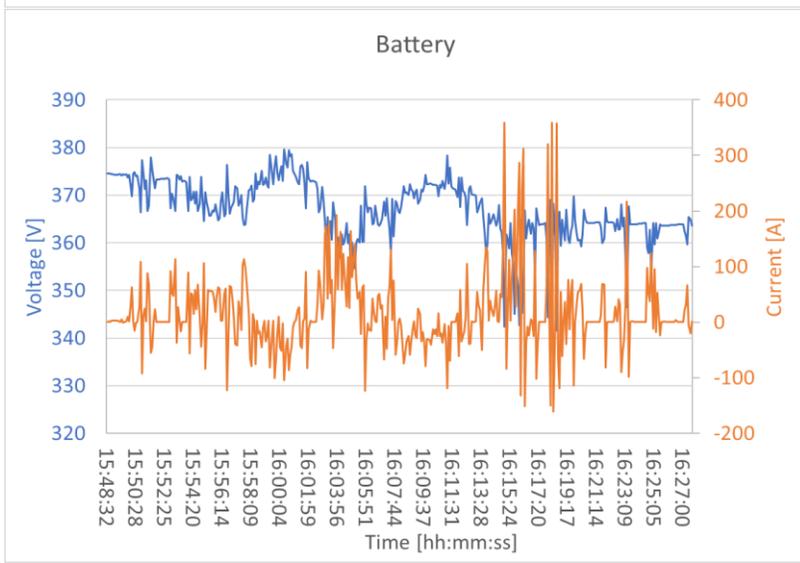
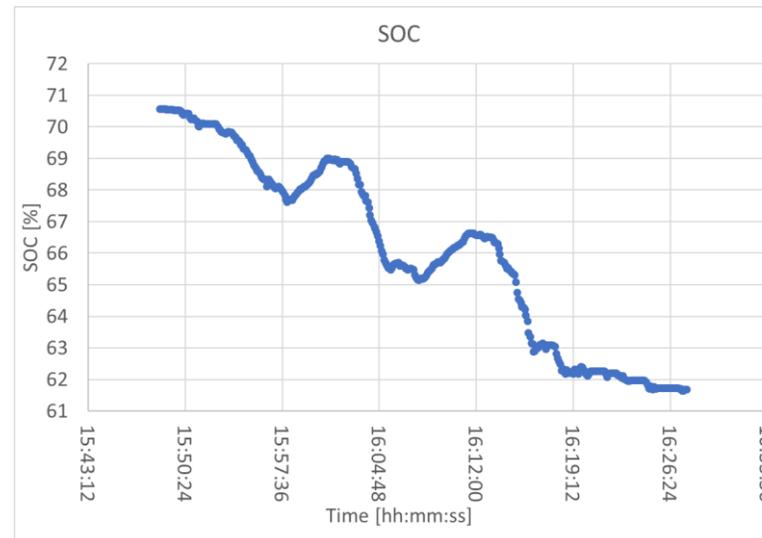
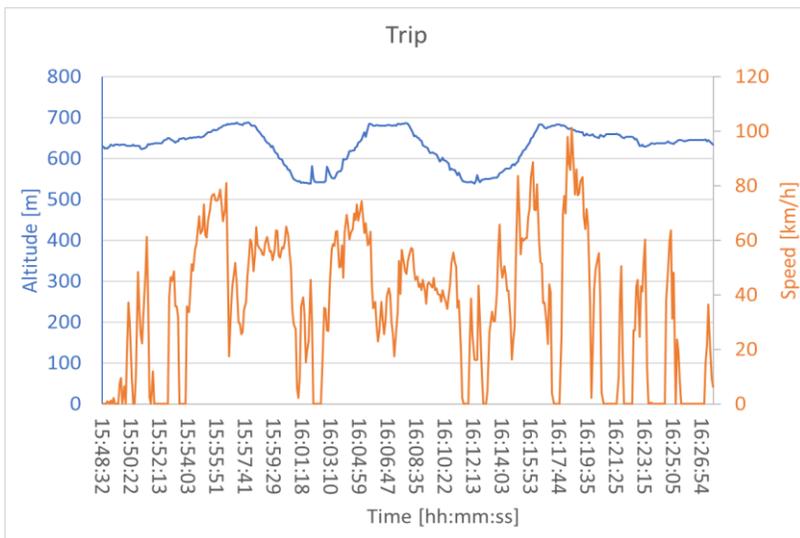


Dispositivo con protocolo ELM327 full conectado al puerto OBD2  
 8 segundos de frecuencia de adquisición  
 CE – UChile tiene participación activa en el diseño del sistema de adquisición de datos.

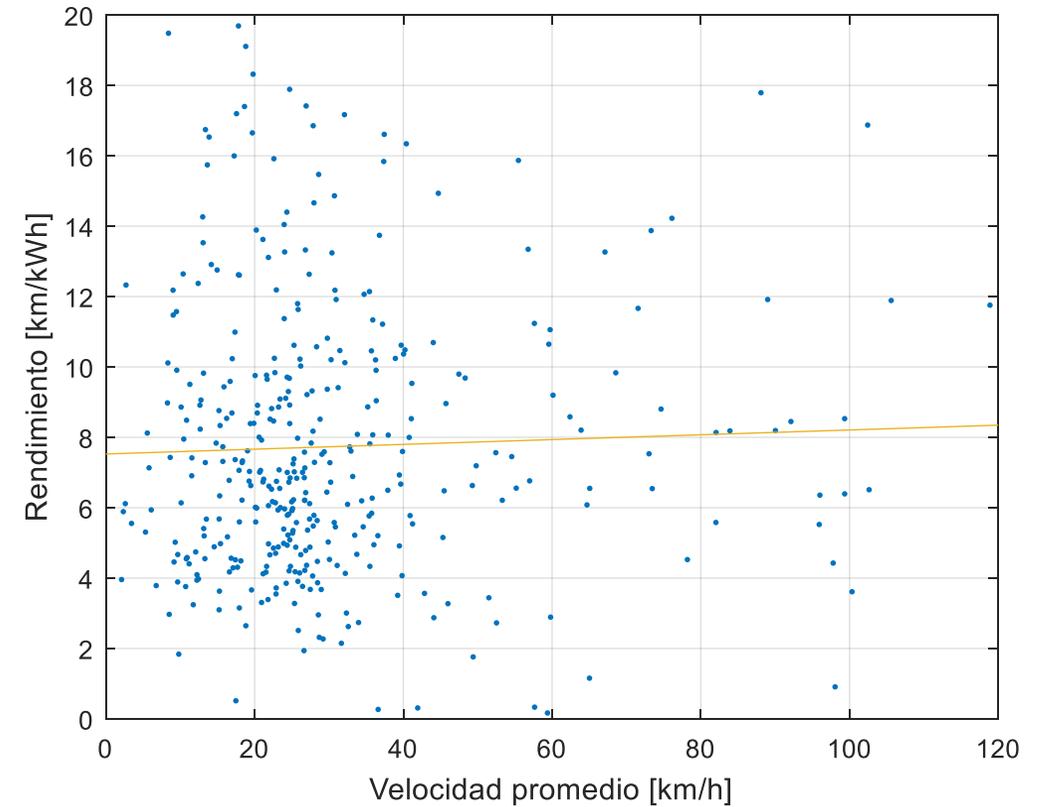
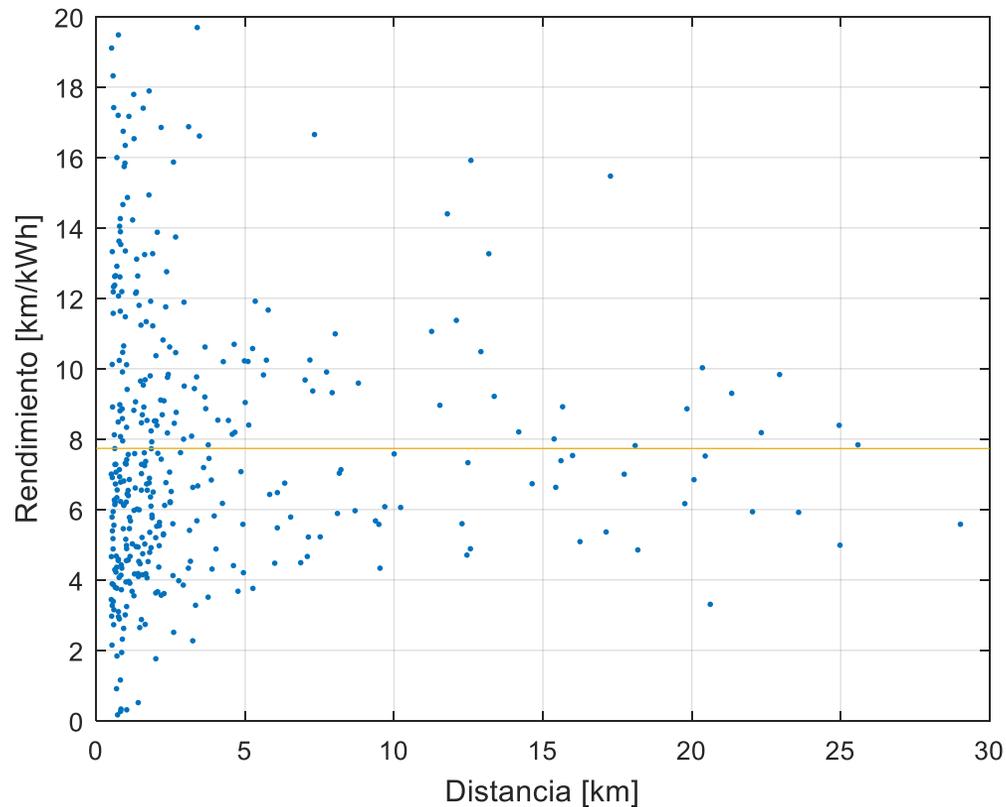
# Análisis de viabilidad: Procesamiento de datos



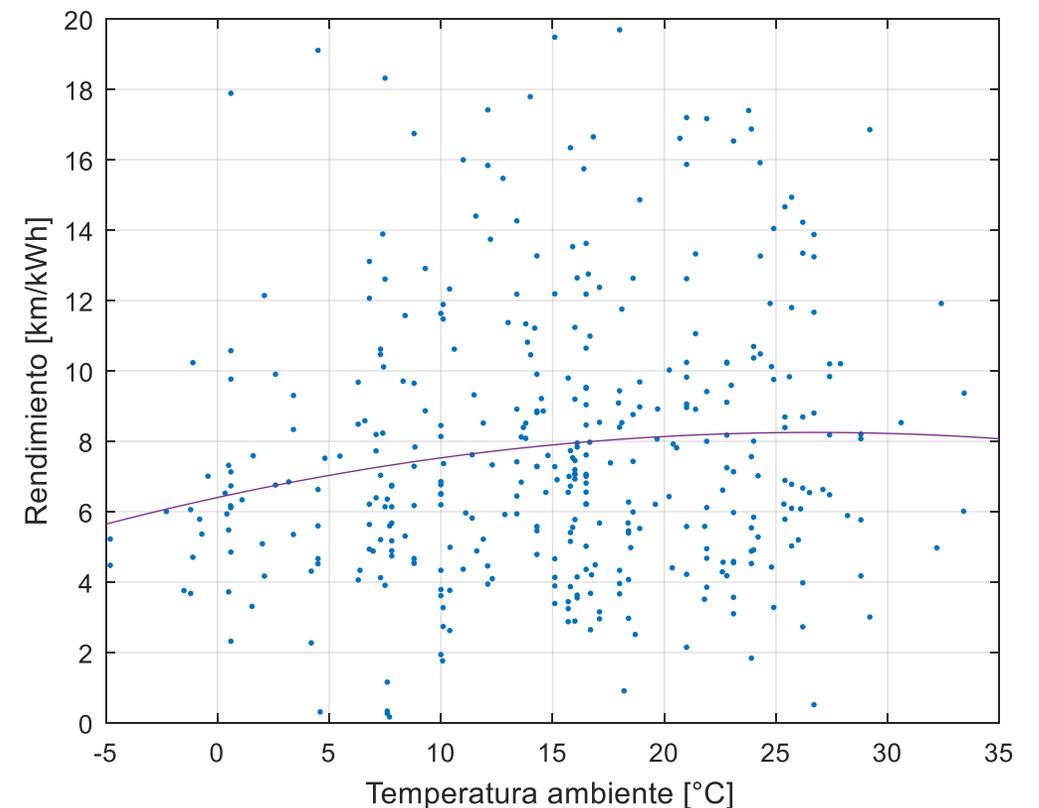
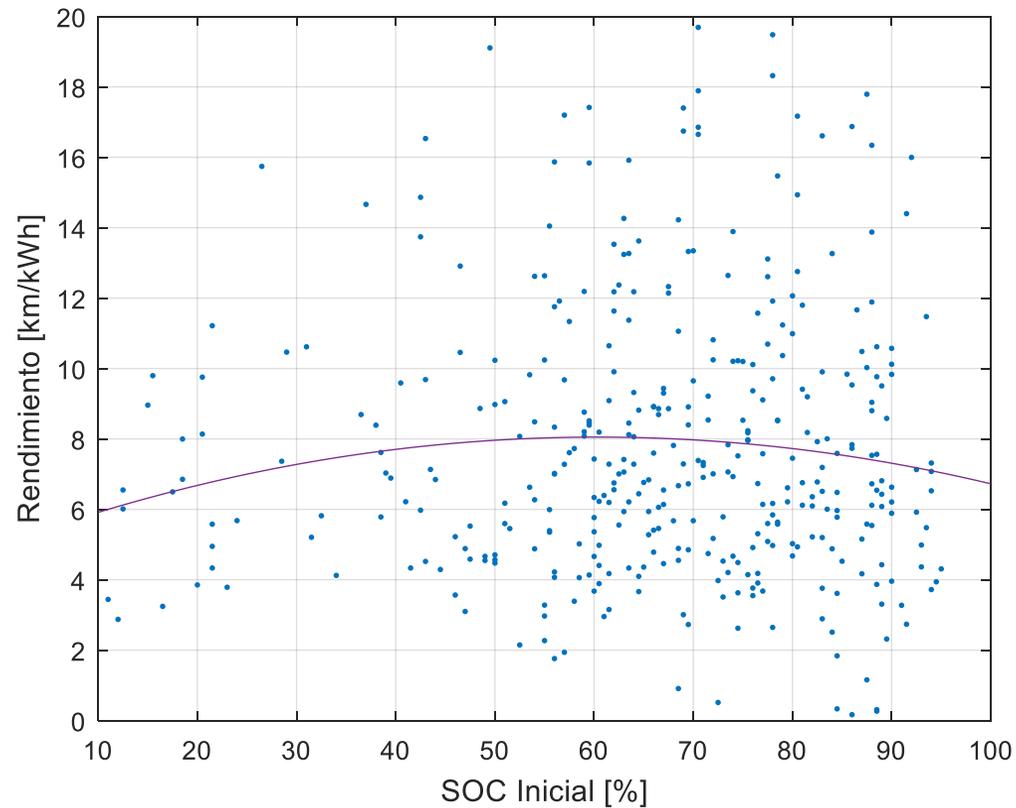
# Análisis de viabilidad: Procesamiento de datos



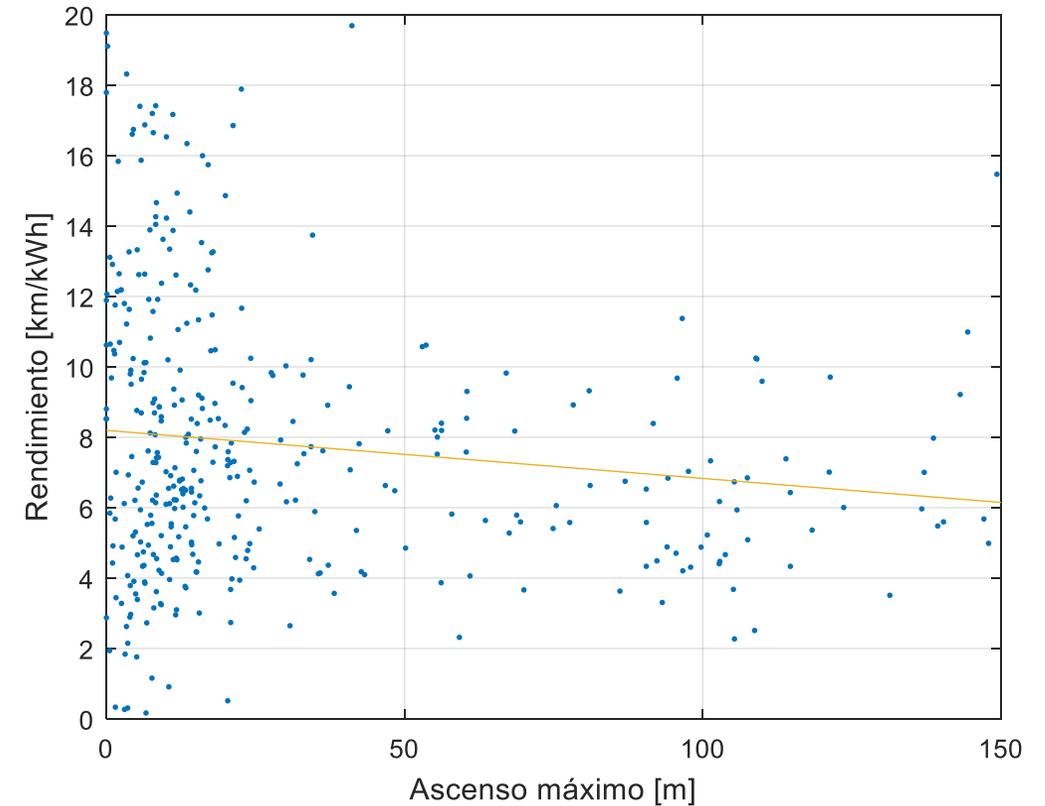
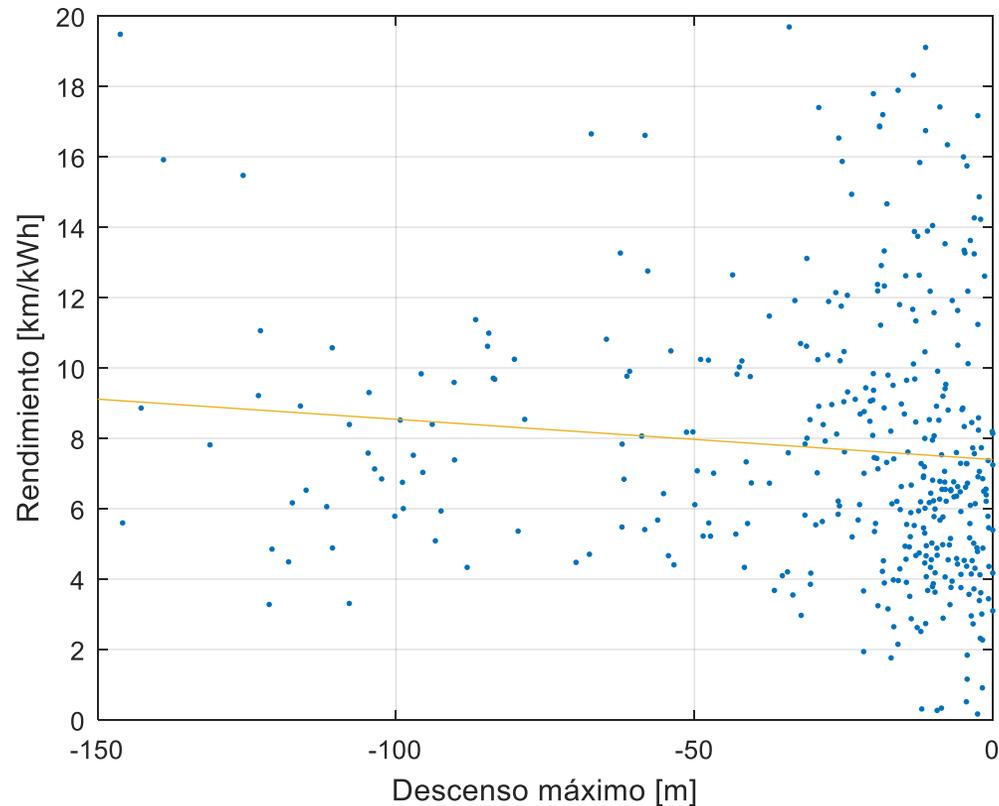
# Análisis de viabilidad: Resultados en taxis eléctricos



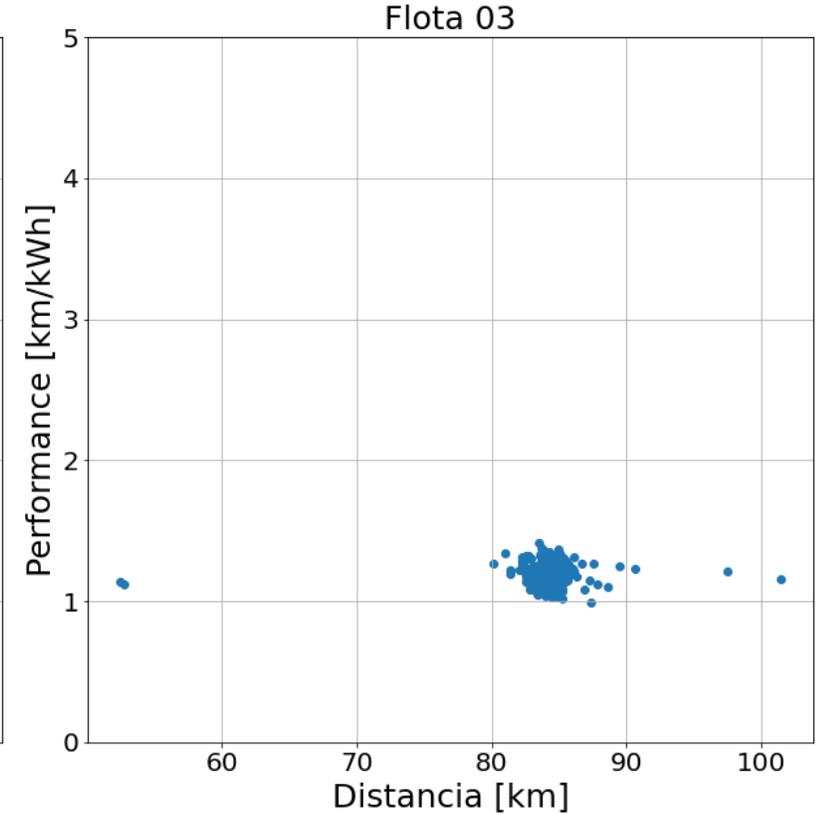
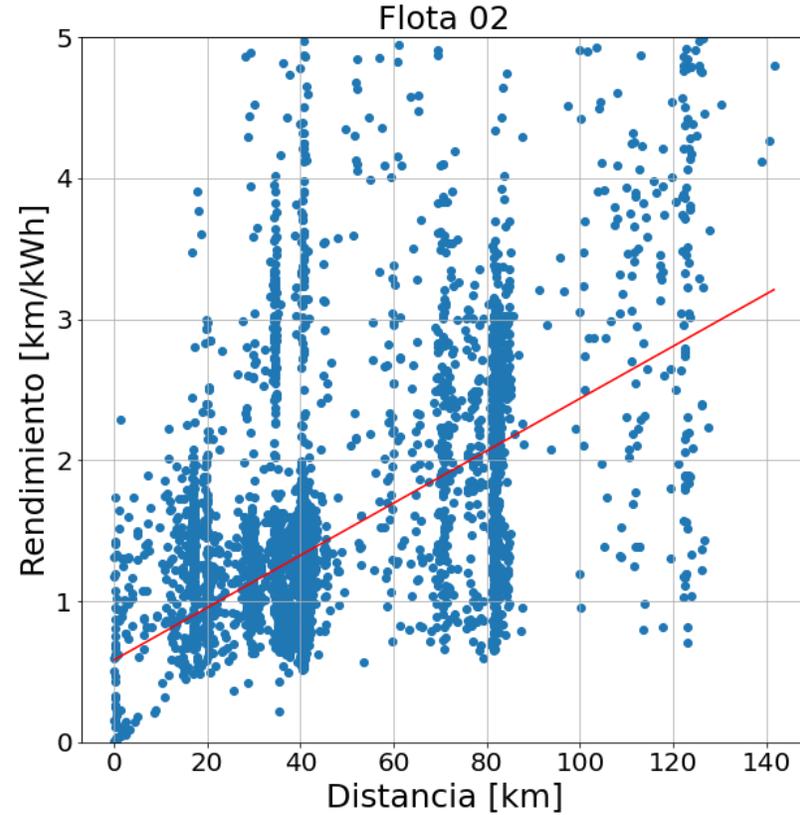
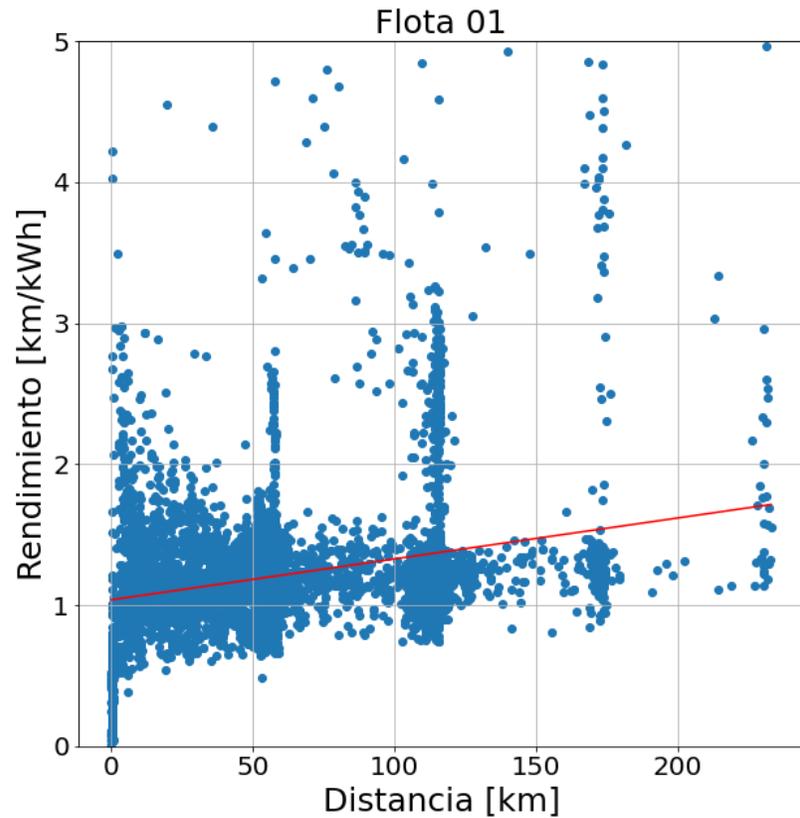
# Análisis de viabilidad: Resultados en taxis eléctricos



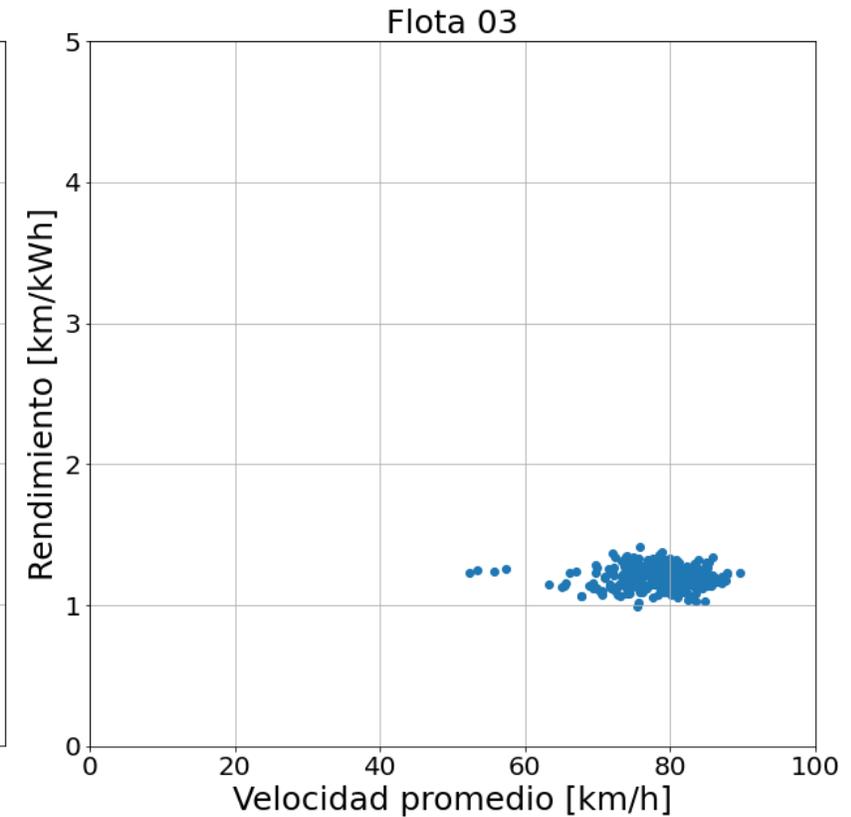
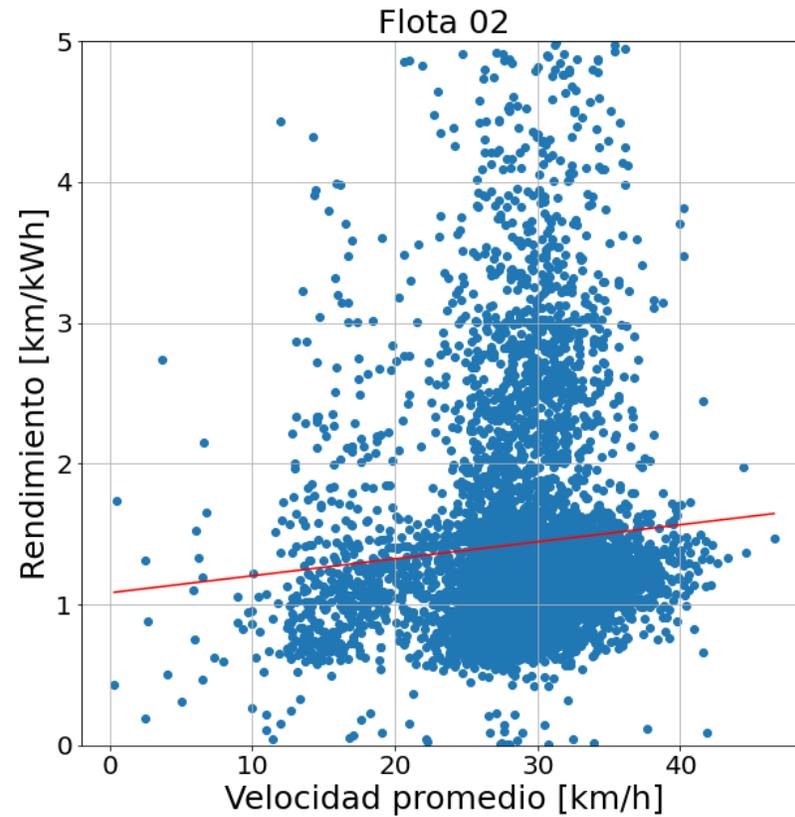
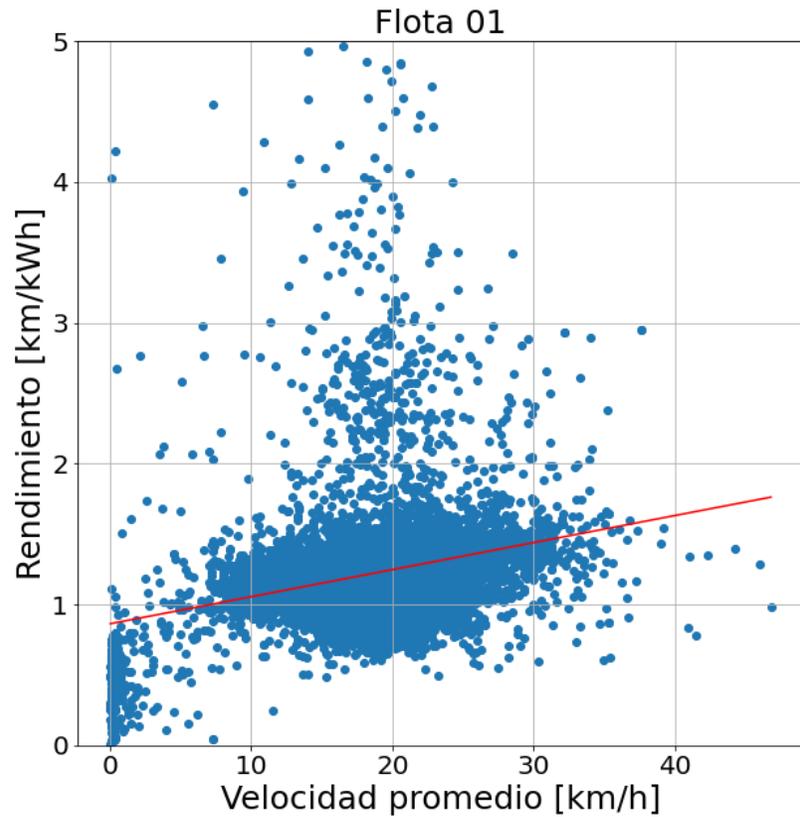
# Análisis de viabilidad: Resultados en taxis eléctricos



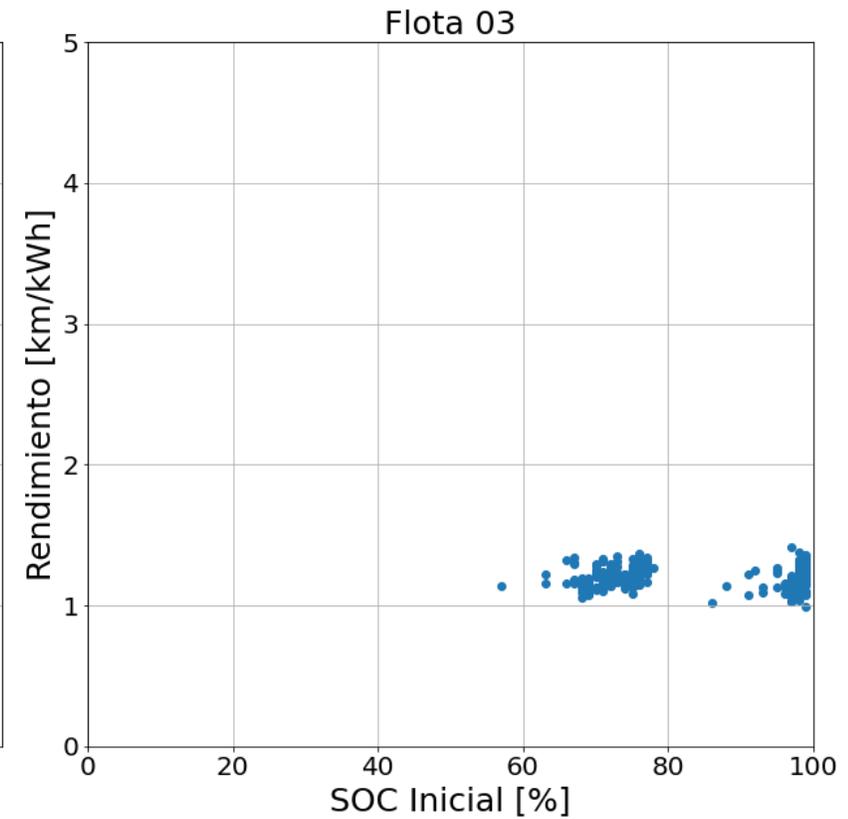
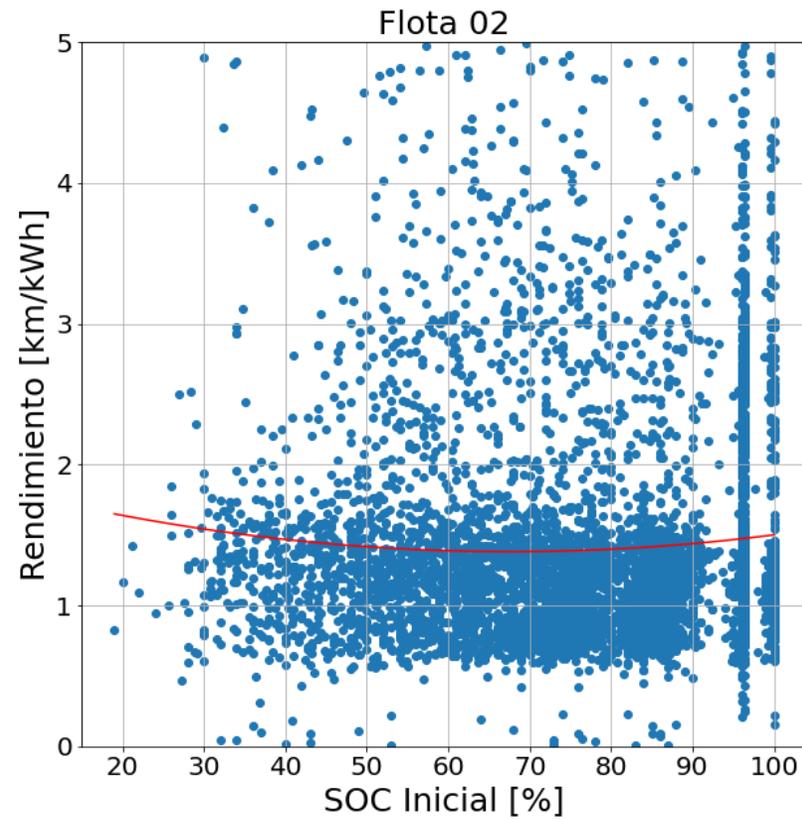
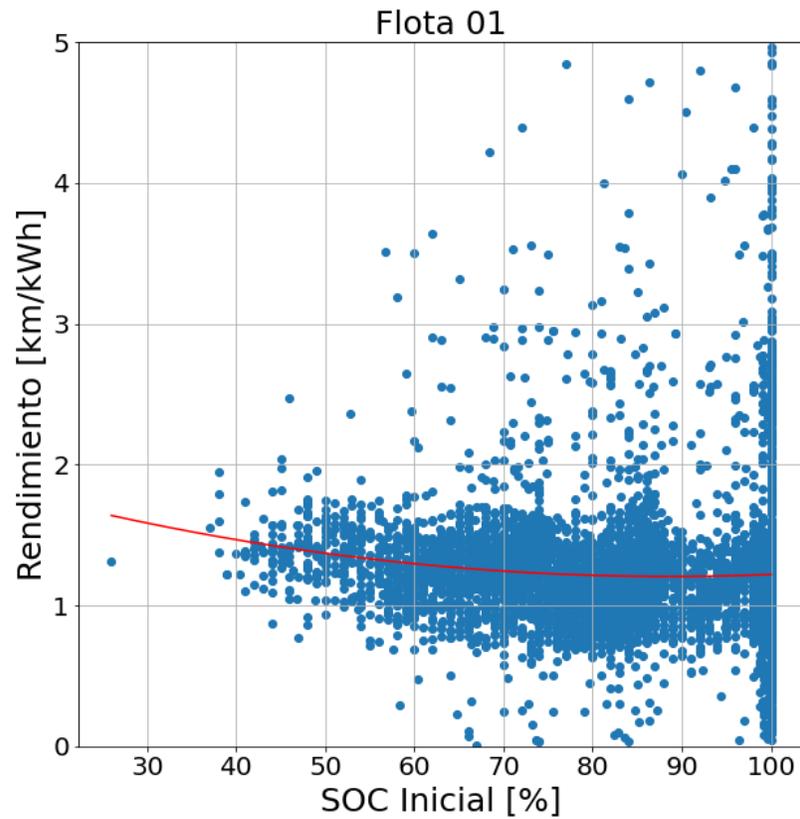
# Análisis de viabilidad: Resultados en b uses eléctricos



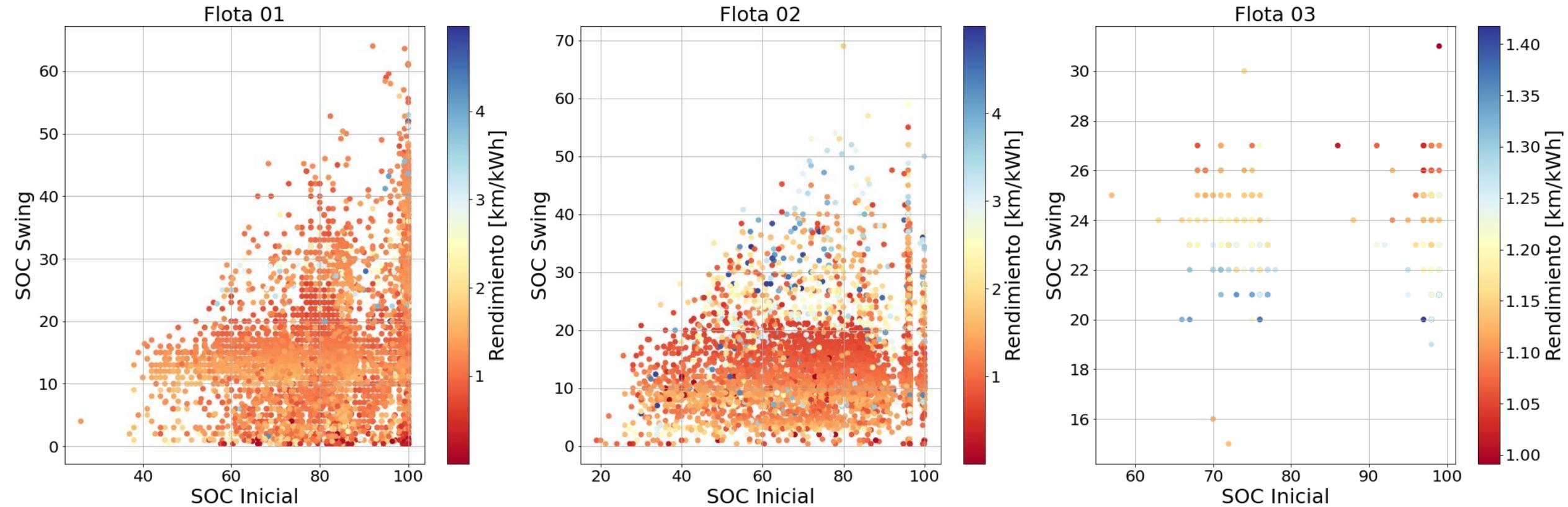
# Análisis de viabilidad: Resultados en b uses eléctricos



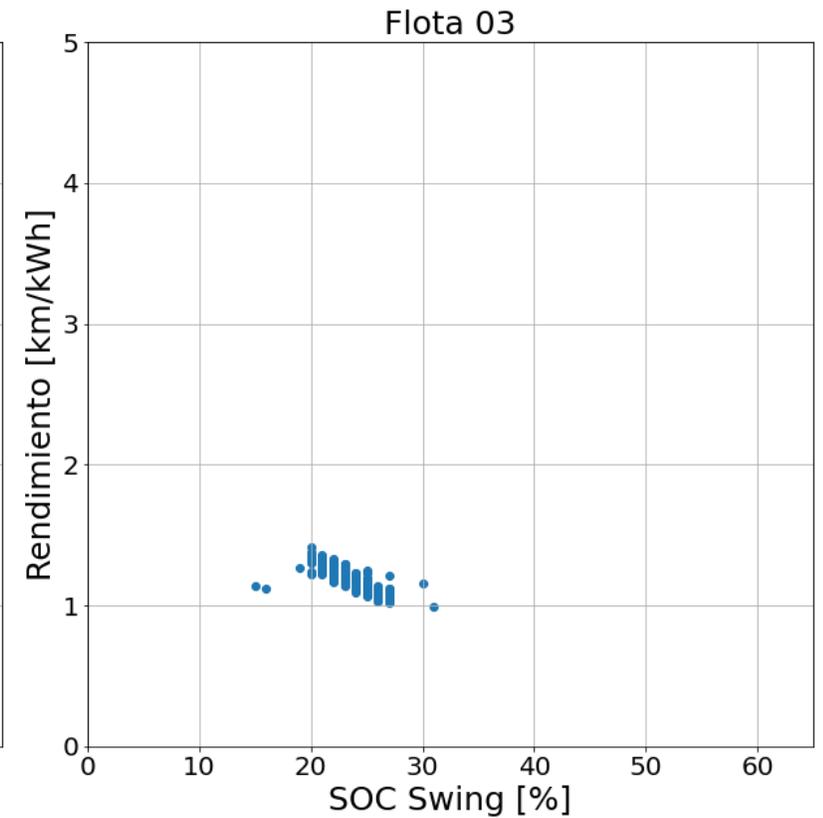
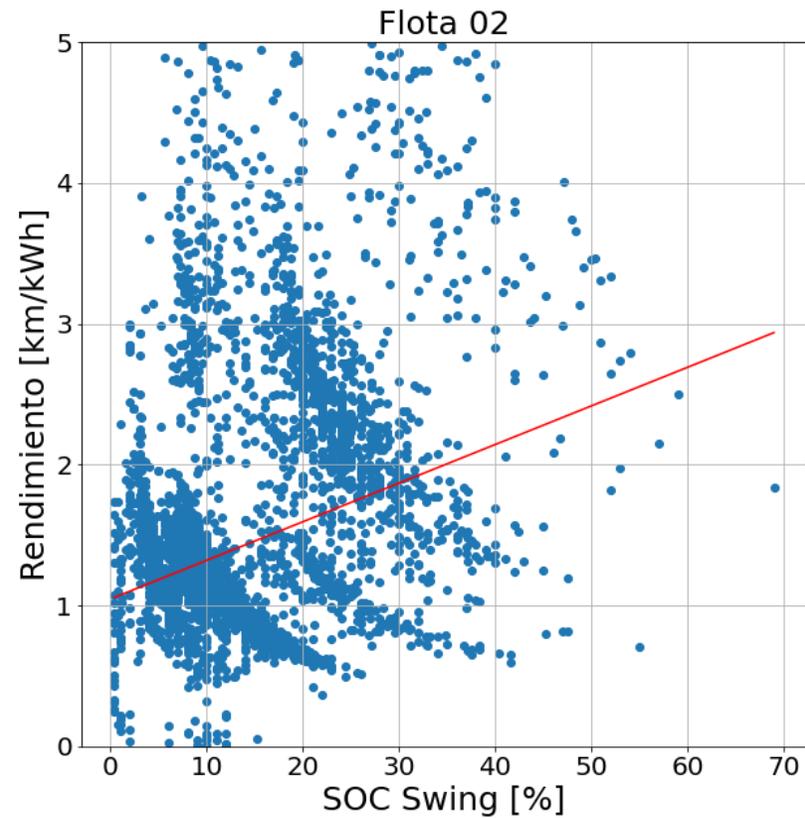
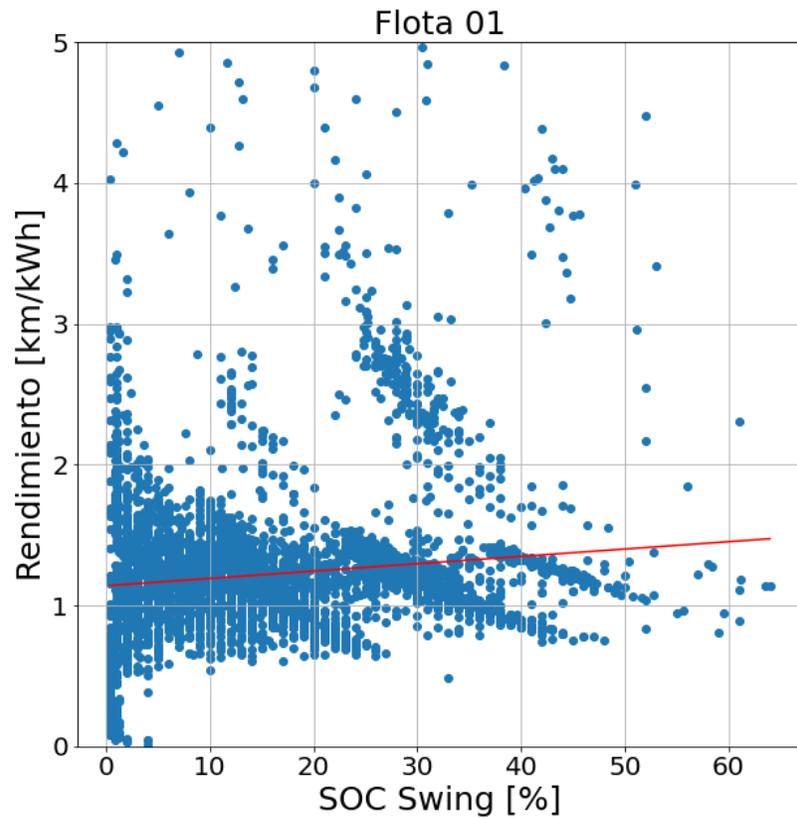
# Análisis de viabilidad: Resultados en b uses eléctricos



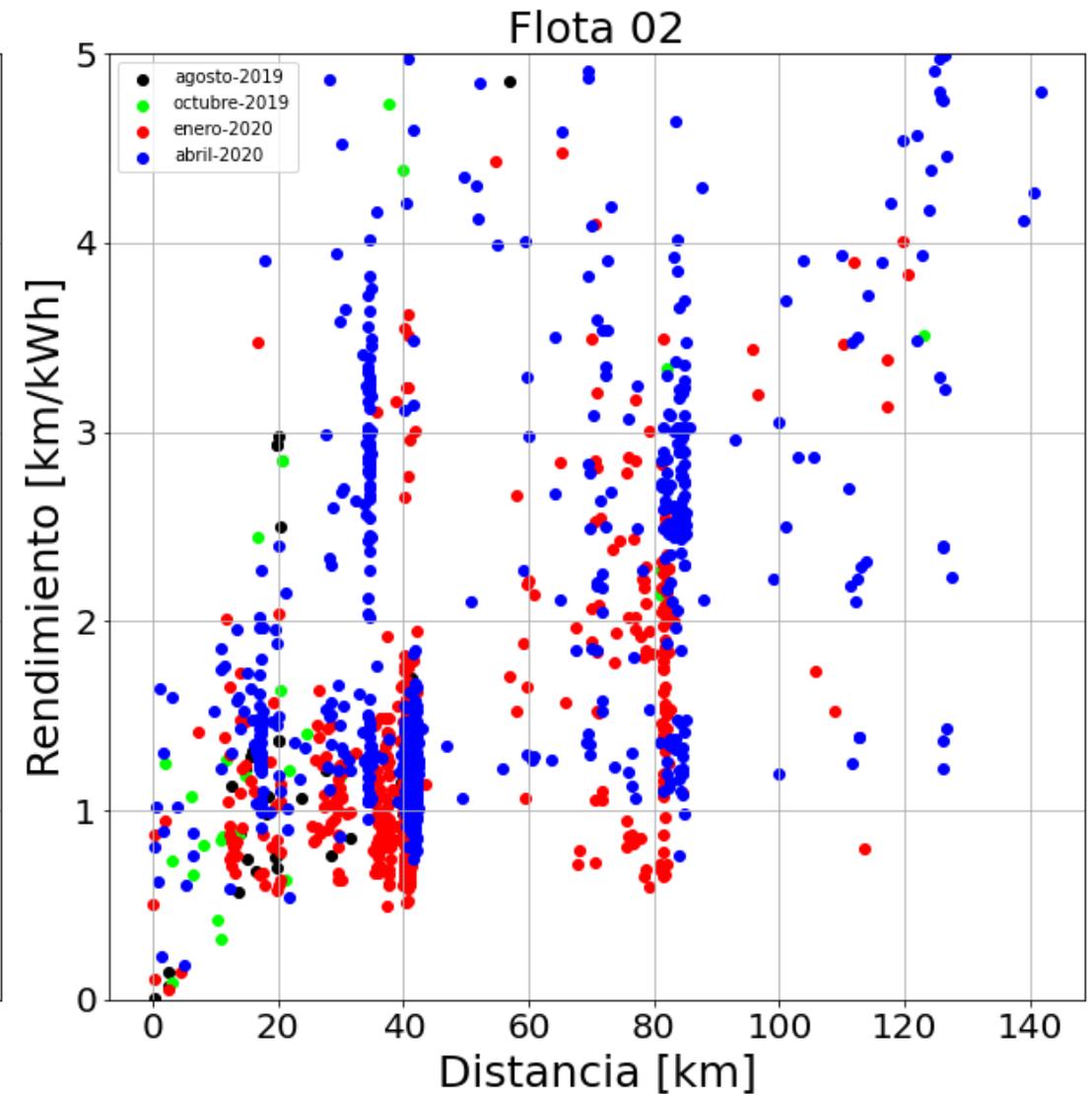
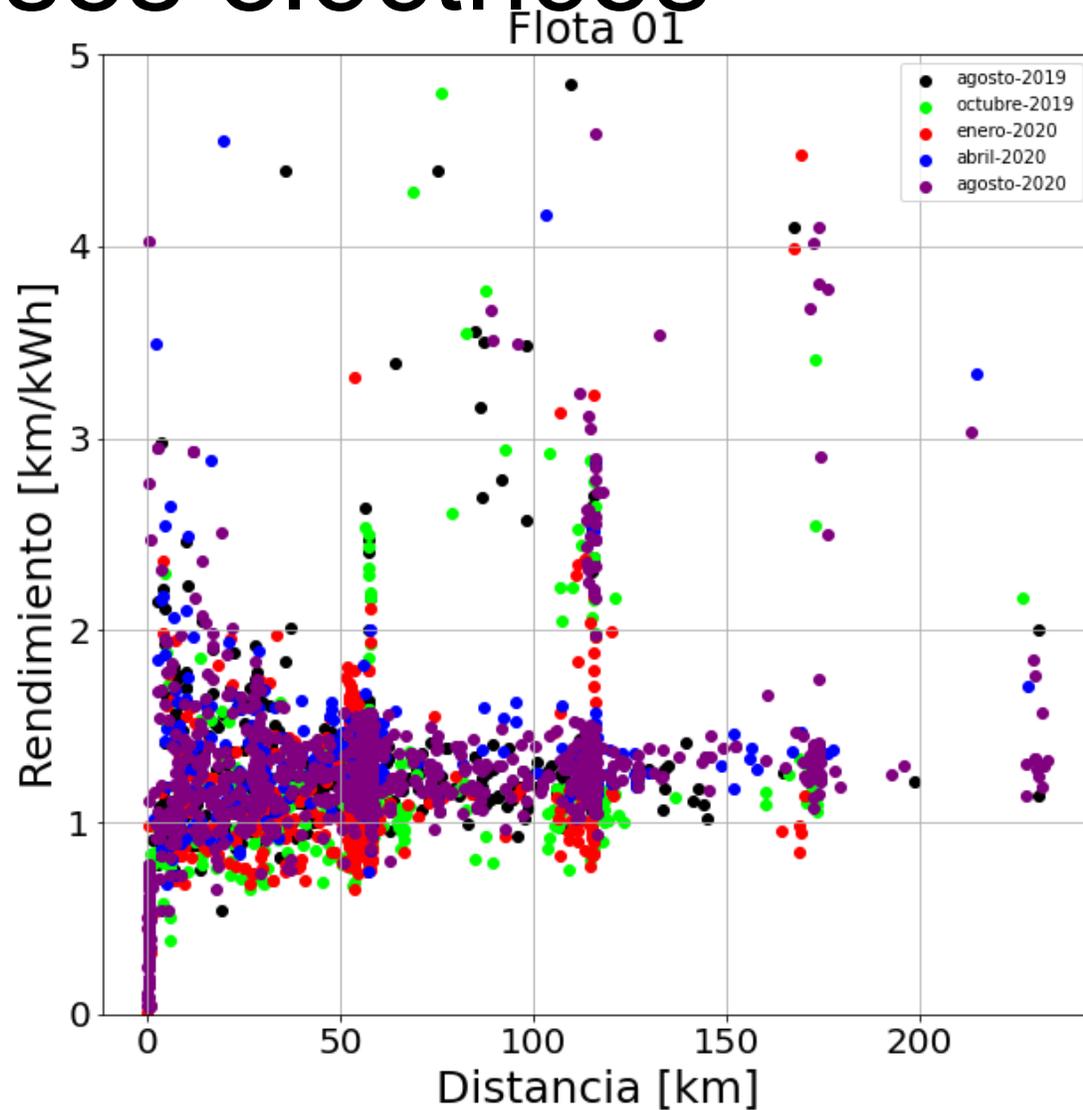
# Análisis de viabilidad: Resultados en b uses eléctricos



# Análisis de viabilidad: Resultados en b uses eléctricos



# Análisis de viabilidad: Resultados en b uses eléctricos



# Conclusiones

1

## Importancia de diseño de metodología

- Selección de tamaño de muestra
- Selección de periodo de tiempo
- Selección de variables
- Frecuencia de adquisición de datos
- Limpieza de datos

2

## Flotas de taxis:

- A distancias reducidas de viajes, regeneración permite duplicar rendimiento
- Rendimientos más altos se concentran a velocidades promedio menores a 50km/h
- Rendimiento presenta un comportamiento favorable a %SOC inicial entre 50% y 90%, y Temperatura ambiente entre 10°C y 25°C

3

## Flotas de buses

- A distancias en el rango de 40-80km, se obtienen los mejores rendimientos
- A velocidades promedio en torno a los 30km/h, se obtienen rendimientos promedio de 1.5km/kWh
- Rendimiento presenta un comportamiento favorable a %SOC inicial entre 50% y 90%
- Se reportan rendimientos más favorables en Abril respecto de Enero 2020



**Williams  
Calderón**

Ph.D.  
Líder de Electro  
movilidad. FCFM –  
UCHILE.  
Especialista en análisis  
térmico



**Marcos  
Orchard**

Ph.D.  
Especialista en  
pronóstico y  
estimación de  
degradación  
baterías de litio



**Edwin  
Paccha**

Estudiante Ph.D.  
Especialista  
análisis térmico  
experimental y  
modelamiento  
matemático



**Aramis  
Pérez**

Ph.D.  
Especialista en  
pronóstico y  
estimación de  
degradación de  
baterías de litio



**Jaime  
Alee**

Ing. Eléctrico  
Especialista en  
análisis de  
mercado en  
Electro movilidad



**Paulina  
Ramírez**

Ing. Eléctrico  
Especialista en  
implementación y  
gestión de proyectos  
de electromovilidad y  
ERNC



**Jorge  
Reyes**

Ing. Mecánico  
Especialista en  
análisis de datos y  
análisis energético  
de electro movilidad



**Fernando  
Fuentes**

Ing. Eléctrico  
Especialista en  
sistemas eléctricos e  
implementación  
proyectos electro  
movilidad



**Juan Pablo  
Romero**

Estudiante M.Sc.  
Especialista análisis  
ciclo de vida de flotas  
eléctricas

# Equipo de Trabajo

# Referencias

- [1] Paccha-Herrera, E., Calderón-Muñoz, W.R.; Orchard, M.; Jaramillo, F.; Medjaher, K. Thermal Modelling Approaches for a LiCoO<sub>2</sub> Lithium-ion Battery – A Comparative Study with Experimental Validation, *Batteries* 2020, 6, 40
- [2] J. Reyes-Marambio et al., “A fractal time thermal model for predicting the surface temperature of air-cooled cylindrical Li-ion cells based on experimental measurements,” *J. Power Sources*, vol. 306, pp. 636–645, 2016.
- [3] M. Cortés-Carmona, A. Mallco, W. R. Calderón-Muñoz, J. Reyes-Marambio, R. Palma-Behnke, and M. Orchard, “Equivalent circuits of cylindrical lithium-ion batteries for different cases of generation sources,” *Int. Work. Lithium, Ind. Miner. Energy*, no. November, pp. 3–5, 2016.
- [4] M. Cortés-Carmona, A. M. C, W. R. Calderón-Muñoz, J. Reyes-Marambio, and R. Palma-Behnke, “Estudio del Efecto Altura en un Sistema de Empaque de Baterías de Ion Litio,” in *Enersol*, 2016, pp. 1–6.
- [5] M. Cortés-Carmona, A. Mallco, W. R. Calderón-Muñoz, J. Reyes-Marambio, R. Palma-Behnke, and M. Orchard, “Electro-thermal modelling of cylindrical lithium-ion array cell,” in *International Workshop in Lithium, Industrial Minerals and Energy*, 2015, pp. 2–4.
- [6] M. E. Orchard et al., “Information-theoretic measures and sequential Monte Carlo methods for detection of regeneration phenomena in the degradation of lithium-ion battery cells,” *IEEE Trans. Reliab.*, vol. 64, no. 2, pp. 701–709, 2015.
- [7] B. Severino et al., “Multi-objective optimal design of lithium-ion battery packs based on evolutionary algorithms,” *J. Power Sources*, vol. 267, pp. 288–299, 2014.

*FIN*  
*¿PREGUNTAS?*