



Optimización en redes de energía

Andrés Ferragut - Universidad ORT Uruguay

Fondo Sectorial de Energía, ANII, Julio 2024



Algunos números

- En Uruguay se vendieron **860.000 m³** de gasolina en 2021.
- Corresponden a **10300 millones de kms.** (a 12 km/l)
- Se requieren **1300 GWh** anuales para sustituir la gasolina (a 0.125 kwh/km)
- Uruguay consumió **11200 GWh** en 2021, y exportó **2800 GWh**, mayormente de fuentes renovables.



La energía está:

Uruguay dispone de la energía eléctrica para electrificar todo su parque automotor inmediatamente.

Desafío:

Se requiere **gestionar** la demanda para evitar la **congestión** de la red eléctrica.

¿Cómo lo hacemos?: Optimización, optimización, optimización...

Nuestro equipo:

Grupo de Matemática Aplicada a Telecomunicaciones y Energía
Universidad ORT Uruguay

Investigadores:

- Fernando Paganini (SNI Nivel III)
- Andrés Ferragut (SNI Nivel II)

Colaborador:

- Enrique Briglia

Proyectos FSE

- **Mercados, subastas y nuevas tecnologías en el sector eléctrico uruguayo.** 2012-2014. En conjunto con IIE/Fing/UdelaR.
- **Redes eléctricas inteligentes y sus mercados en presencia de energías renovables.** 2014-2016. En conjunto con IIE/Fing/UdelaR.
- **Operación óptima de cargas inteligentes, generación renovable y recursos de almacenamiento en redes eléctricas.** 2017-2019.
- **Optimización del almacenamiento de energía en redes eléctricas,** 2018-2020. En conjunto con IIE/Fing/UdelaR.

Proyectos FSE

- Gestión de recarga de vehículos eléctricos y su integración inteligente con la red eléctrica, 2019-2021.
- Integración y control de almacenamiento distribuido en sistemas eléctricos, 2020-2022. En conjunto con IIE/Fing/UdelaR..
- Red de recarga adaptativa para vehículos eléctricos. 2021-2022.

Otros proyectos de energía

- **Flujo de carga óptimo y almacenamiento de energía para redes eléctricas dinámicas, 2016-2017** - Conjunto con Udelar y UTE.
- **Flujo de carga óptimo para incorporación de energías renovables.** Proyecto BID-MIEM-Vinculación con la Diáspora Calificada, 2016-2017.
- **Optimización del almacenamiento de energía en mercados eléctricos con alta penetración de renovables.** ANII - PPI, 2016-2018. Con CSI Ingenieros.
- **Optimización y Modelos Estocásticos para Planificación y Despacho en la Red Eléctrica,** 2019-2020 - Conjunto con Udelar y UTE.

Estudiantes y colaboradores

- Federico Bliman (master, actualmente doctorando en UdeLaR).
- Martín Zeballos (actualmente en CSI-CIEMSA).
- Rodrigo Porteiro (master, actualmente en UTE).
- Camila Martínez (actualmente doctorando en Ecole de Mines - Paris).
- Lucas Narbondo (actualmente doctorando en TU/Delft).
- Agustín Castellano (master, actualmente doctorando en Johns Hopkins).
- Sebastián Alaggia (Ing. en UTE).
- Diego Acuña (Ing. en UTE).
- Emiliano Espíndola (posgrado en ingeniería, CTO de RedeLocker)

Mantenemos además colaboración activa con UdeLaR y universidades del extranjero (Caltech, Johns Hopkins, Georgia Tech).

Aportes realizados

Mencionamos ahora algunos ejemplos de aportes que hemos construido en este tiempo.

Foco común: Incorporar estrategias de *optimización* y *probabilidad* para generar algoritmos con impacto práctico.

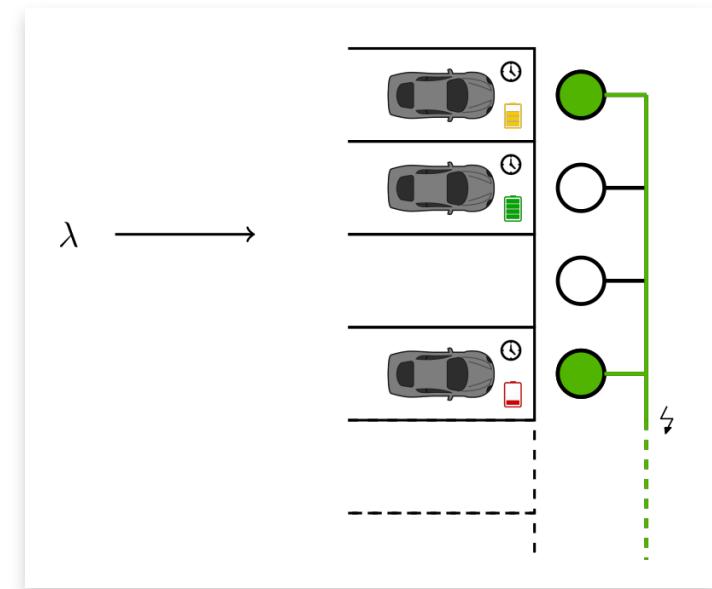
Ejemplo: agenda de vehículos

Consideremos un parking que ofrece servicio de carga de vehículos.

Pregunta:

Si tengo congestión, ¿en qué orden se deben cargar los vehículos?

¿En orden de llegada? *Muy mala idea*



Solución 1:

Priorizar por *urgencia* de la carga (tiempo de partida).

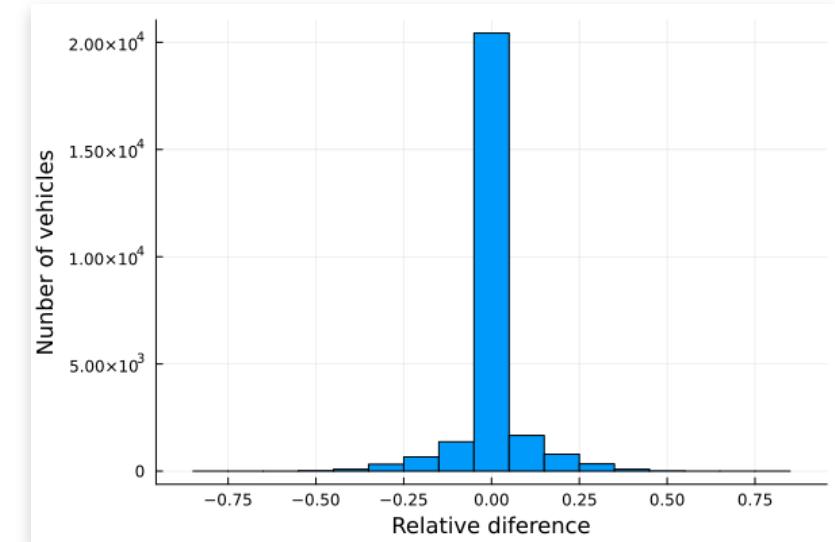
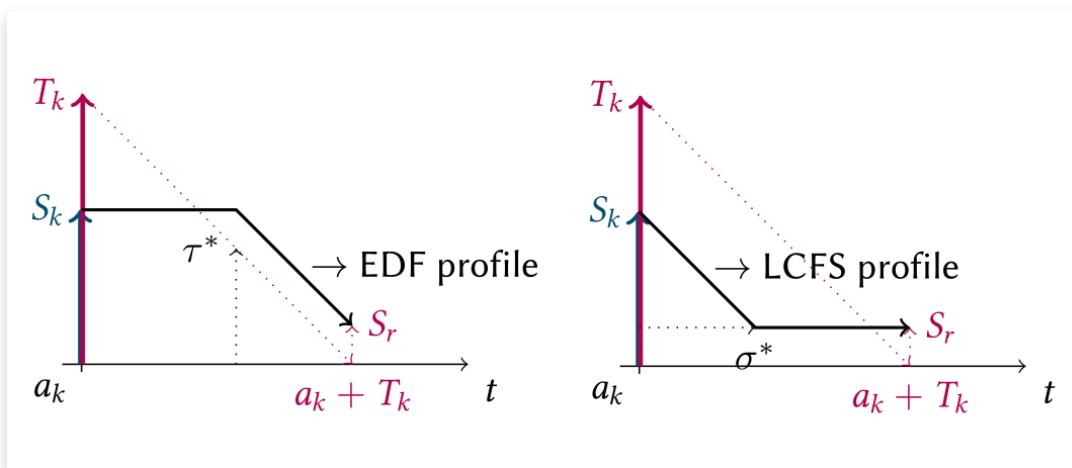
Mejor...pero tengo que confiar en los usuarios...

Ejemplo: agenda de vehículos

Solución 2:

Cargarlos en orden **inverso al de llegada**.

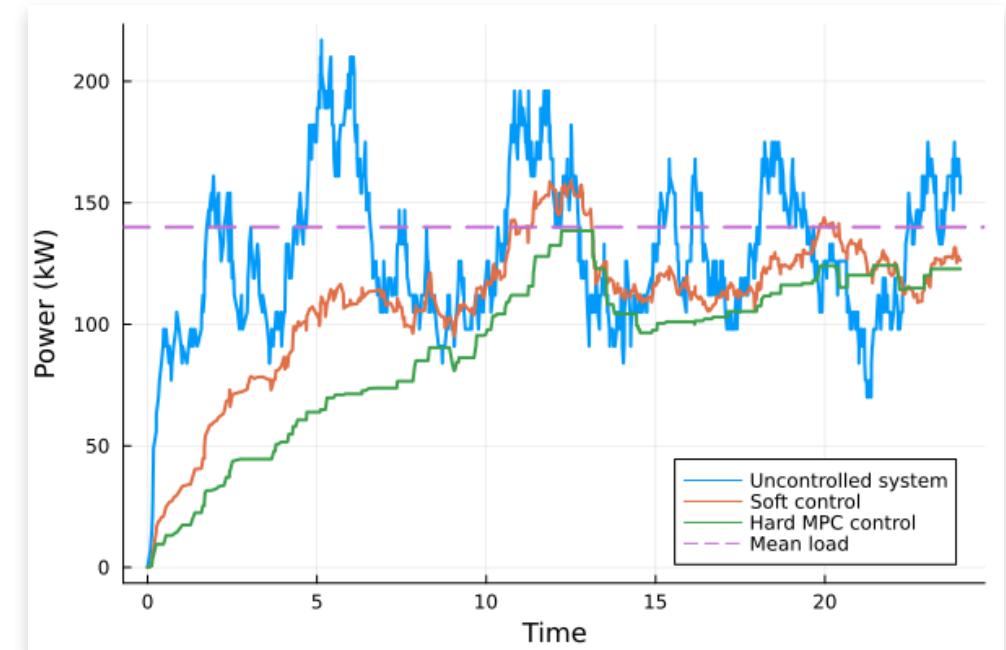
Contraintuitivo, pero aproxima perfectamente el algoritmo anterior *sin necesidad de saber el tiempo de permanencia* [Ferragut et al., INFORMS APS 2019]



Ejemplo: gestión de demanda de EVs

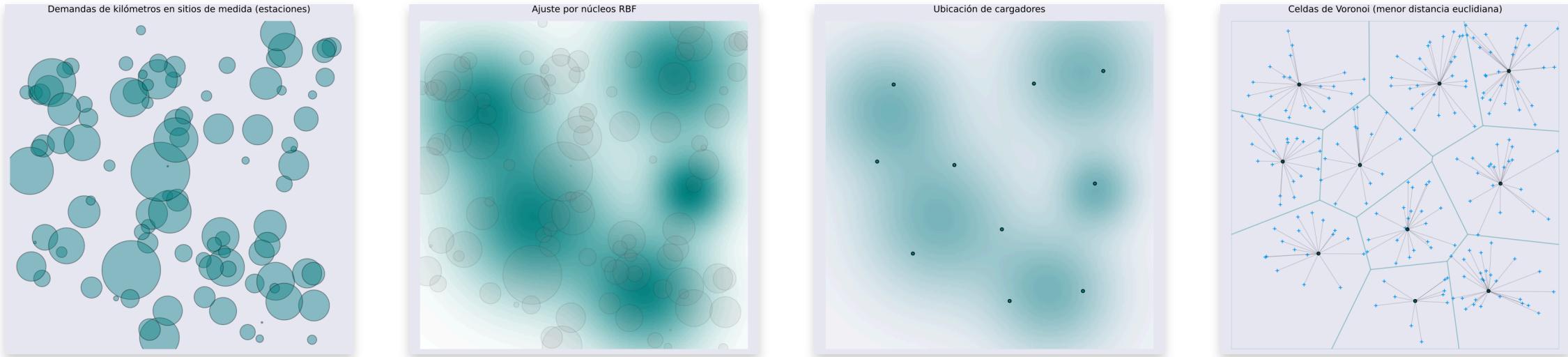
Idea: Si tengo control sobre la carga puedo aprovechar la **flexibilidad** de los usuarios.

- Ejemplo: en Canadá, 95% del tiempo los vehículos están *parados*.
- Podemos *optimizar* la gestión de carga para minimizar el impacto en la red:
 - Disminuir picos [Nakahira et al. Operations Research 2022]
 - Desbalance trifásico, [D. Acuña et al. e-Energy 2022], [Ferragut et al. Performance 2023].



Ejemplo: ubicación de puestos de carga

Idea: a partir del consumo actual georreferenciado, diseñar una infraestructura de carga óptima para una región:



Solución: diseñamos un algoritmo de Machine Learning para estimar la demanda [Espindola, F., INFORMS APS 2023] y luego resolver el problema de optimización resultante [Paganini et al., Allerton 2023, TCNS submitted].

Otros aportes:

- Creamos un algoritmo de **programación estocástica dual multi-escala** para resolver el problema de la optimización conjunta de recurso hídrico y baterías en presencia de renovables [R. Porteiro, Tesis Maestría].
- Creamos algoritmos basados en **relajaciones convexas** para calcular el flujo de carga óptimo en una red de distribución. [Software COMODIN, en testing actualmente en UTE].
- Hicimos aportes a la **regulación de frecuencia**, al control de **demand-response**, así como a modelos de despacho conjunto térmico-hídrico-baterías.

Conclusiones

- Debemos adecuar la *gestión* de la red para evitar la *congestión*.
- Debemos incorporar algoritmos y matemática para llevarlo a cabo.
- El FSE ha sido un gran instrumento para apoyar esta investigación y formar RRHH en estos temas.





Muchas gracias

Contacto: ferragut@ort.edu.uy

Website: <https://aferragu.github.io>

