



## Tarea 2

1º semestre 2024 - Profesor Samuel Córdova

Ayudantes encargados: Claudio Guajardo y Francisca Meriño

---

- Fecha límite de entrega: **27 de Mayo a las 11:30 horas** a través de Canvas. Puede subir la tarea múltiples veces, pero solo la última versión será corregida
- La tarea debe ser entregada en un archivo .zip (que contenga las respuestas de su tarea en archivo .pdf, códigos funcionales en archivos .jl y archivos de datos utilizados en archivos .csv), y cargada en el cuestionario de Canvas habilitado, antes del plazo. Sea ordenado y claro con los archivos entregados para facilitar la corrección de su tarea por parte de ayudantes.
- Recuerde las buenas prácticas de programación enseñadas por el profesor en clases, incluyendo la creación de un repositorio en GitHub para el proyecto.
- Se espera que todos los problemas de las tareas sean intentados de resolver, por lo que tareas con problemas en blanco tendrán nota 1.0
- Tareas fuera de plazo y/o enviadas por email no serán aceptadas
- Se sugiere (solamente sugerencia) utilizar TEX
- Libros, papers o cualquier material usado debe ser referenciado apropiadamente.

### Problema 1: Unit Commitment [15 puntos]

Una vez más, usted es el operador del sistema eléctrico en Isla de del país imaginario Lumina. Sin embargo, estamos en el año 2085 y la isla se ha transformado en una gran metrópolis con un sistema eléctrico bastante complejo. Además, gracias a que se instauraron políticas ambientales, el sistema cuenta de una significativa adopción de energías renovables de tipo eólica y solar. Usted y su equipo de ingenieros saben que es importante que al operar el sistema eléctrico se balancee adecuadamente tanto aspectos económicos como de seguridad. Para esto, usted quiere llevar a cabo un estudio para comprender que tan preparado está el sistema para utilizar de forma efectiva la disponibilidad de energías renovables.

El equipo consolidó todos los datos del sistema actual en un archivo llamado "Case118.xlsx". También consolidaron los datos de una versión muy antigua del sistema, cercana al año 2017, en un archivo llamado "Case014.xlsx", cuando sólo había un parque eólico y un parque solar en la isla. Los ingenieros creen que le podría servir testear primero los métodos

computacionales que desarrolle en esta versión del sistema, para chequear que tienen sentido antes de intentar trabajar con el sistema actual.

- (a) Escriba rigurosamente un modelo matemático de Unit Commitment, considerando lo visto en clases. Implemente el modelo en Julia/JuMP incluyendo restricciones de tiempos mínimos de encendido y apagado, mínimos y máximos técnicos, rampas, flujos de potencia con aproximación DC y capacidades de flujo en las líneas. Muestre el código desarrollado.
- (b) Resuelva el problema de Unit Commitment para el sistema Case014.xlsx incorporando los generadores renovables, y considerando un tiempo máximo de resolución de 1hr y un gap de optimalidad de 0.1 %. Muestre los siguientes resultados: (i) Costo total óptimo de operación sobre el horizonte de tiempo completo, junto a un desglose en: costo asociado a los encendidos (start-up), costo asociado a mantener los generadores encendidos (no-load) y costos variables de generación. (ii) Una tabla mostrando el estado ON/OFF de cada generador en cada hora del horizonte de tiempo. (iii) Un gráfico mostrando la demanda total y el nivel de generación de cada generador a través del horizonte de tiempo.
- (c) Resuelva nuevamente el problema de Unit Commitment para el sistema en Case014.xlsx, pero esta vez ignorando todas las restricciones asociadas a los tiempos mínimos de encendido y apagado. Muestre los siguientes resultados: (i) Costo total óptimo de operación sobre el horizonte de tiempo completo, junto a un desglose en: costo asociado a los encendidos (start-up), costo asociado a mantener los generadores encendidos (no-load) y costos variables de generación. (ii) Una tabla mostrando el estado ON/OFF de cada generador en cada hora del horizonte de tiempo. (iii) Un gráfico mostrando la demanda total y el nivel de generación de cada generador a través del horizonte de tiempo.
- (d) Compare y analice los resultados obtenidos en las partes (b) y (c), y argumente sobre la relevancia de la flexibilidad en sistemas eléctricos modernos. Considere la publicación *Flexibility in 21st Century Power Systems* en sus análisis ([link acá](#)).
- (e) Resuelva el problema de Unit Commitment para el sistema Case118.xlsx incorporando los generadores renovables. ¿Cuál es el costo total óptimo de operación sobre el horizonte de tiempo completo? En caso de enfrentar problemas de tratabilidad computacional, puede aumentar el gap de optimalidad hasta a un 1 %. Si el problema aun así demora mas de 1 hr en resolver, presente los resultados obtenidos hasta ese entonces con el gap de optimalidad asociado.

#### Tenga en consideración

En esta tarea, se requiere desarrollar un código modular, ordenado, comentado y reutilizable para evaluaciones a futuro. El código debe estar diseñado de manera que pueda ser fácilmente comprendido y utilizado por otros.

## Problema 2: Análisis de Incertidumbre Renovable [30 puntos]

Hasta ahora hemos considerado la generación renovable como *determinista*, es decir conocida para las siguientes horas; sin embargo, en la practica los pronósticos de generación no son perfectos, resultando en la necesidad de considerar la *incertidumbre* asociada a estos. Para manejar la incertidumbre renovable, se propone el uso de técnicas de Monte Carlo, en la cual se consideran una serie de escenarios posibles de generación renovable para los cuales el sistema debe estar preparado.

Para la generación de escenarios Monte Carlo, considere que las posibles realizaciones de generación renovable  $\xi_t$  son resultado del pronostico original  $\chi_t$  sumado a un cierto error de pronostico  $\epsilon_t$ ; es decir  $\xi_t = \chi_t + \epsilon_t$ , donde  $t$  indica el tiempo. Asuma que el error de pronostico sigue una distribución Normal de media cero y desviación estándar  $\sigma_t$ , la cual depende del tipo de fuente renovable (eólica o solar), horizonte de pronostico, y valor del pronostico original (error porcentual). En particular, considere que  $\epsilon_t \sim \mathcal{N}(0, \sigma_t)$ , con  $\sigma_t = \kappa_t \cdot \chi_t$  (ver Cuadro 1)

Fuente	1hr-ahead [%]	24hr-ahead [%]
Eolico	14.70	30.92
Solar	10.20	14.02

Cuadro 1: Desviación estándar porcentual a considerar para  $\kappa_t$ . Valores para horas intermedias (e.g., 2hr-ahead) pueden ser calculadas mediante interpolación lineal

Considerando lo anterior y el caso “Case118.xlsx”, se le pide realizar lo siguiente:

- (a) Simule 100 escenarios Monte Carlo de generación renovable para las 24 hrs siguientes, asumiendo independencia estadística temporal y espacial, y truncando valores negativos a cero. Construya tres gráficos mostrando las 100 trayectorias resultantes de generación: (i) total eólica, (ii) total solar, y (iii) total renovable (eolica + solar). Además, para cada gráfico, incluya:
  - Valores esperados para cada hora (trayectoria central)
  - Intervalos de Confianza (IC) del 90 % y 99 % para cada hora, los cuales pueden ser calculados como  $IC_t = \rho \cdot \sigma_t$ , con  $\rho = 1,645$  para 90 % confianza, y  $\rho = 2,575$  para 99 % de confianza.
- (b) Defina requerimientos de reserva hacia arriba y abajo basados en los intervalos de confianza del 90 % y 99 % de generacion total renovable previamente calculados. Modifique su modelo de Unit Commitment del Problema 1 para incluir estos nuevos requerimientos de reserva, y determine la programación diaria (ON/OFF) de generadores resultante para ambos casos.
- (c) Utilizando las dos programaciones diarias (ON/OFF) de generadores obtenidas en (b), realice simulaciones del despacho económico resultante para cada uno de los 100 escenarios Monte Carlo generados. Luego, basado en dichas simulaciones, determine

cual sería el costo total esperado (promedio) de operación de las dos posibles programaciones diarias. Además, para ambas programaciones diarias, determine cual es la probabilidad (o frecuencia de ocurrencia de evento) de que las reservas definidas no sean suficientes, requiriendo el uso de medidas de emergencia como *load shedding* y *renewable curtailment*. Realice una comparación de los resultados de las dos posibles programaciones diarias, argumentando sobre las ventajas y desventajas de considerar reservas ajustadas al 90 % y 99 % de confiabilidad.

## Problema 3: Revisión Bibliográfica e Investigación [15 puntos]

Como grupo deben investigar y analizar diversas aplicaciones y extensiones del problema de Unit Commitment. Para ello, se les solicita que busquen y seleccionen al menos dos papers académicos o investigaciones recientes (2014 en adelante) que aborden aspectos específicos del Unit Commitment y sus aplicaciones en diferentes contextos. Cada grupo deberá realizar un resumen detallado de cada paper seleccionado, destacando las siguientes áreas:

- (a) Descripción general del problema de Unit Commitment en el contexto del paper seleccionado.
- (b) Aplicaciones específicas del Unit Commitment en el área temática del paper (por ejemplo, energías renovables, mercados eléctricos, optimización de costos, etc.).
- (c) Métodos, técnicas o extensiones utilizadas en el paper para abordar el Unit Commitment y resolver problemas asociados.
- (d) Resultados principales obtenidos y conclusiones relevantes del estudio.
- (e) Implicaciones prácticas y potenciales beneficios de las aplicaciones o extensiones del Unit Commitment identificados en el paper.

Para su revisión bibliográfica, considere herramientas como Google Scholar, IEEE Xplore y ScienceDirect. Recuerde que puede acceder a papers de forma gratuita a través de Bibliotecas UC (link [aquí](#)) usando su usuario y clave UC.

### Recuerde

Se deben citar en el texto todas las fuentes utilizadas y agregarlas a la bibliografía. Toda copia será sancionada.