



# Tarea 3

1º semestre 2024 - Profesor Samuel Córdova

Ayudantes encargados: Claudio Guajardo y Francisca Meriño

---

- Fecha límite de entrega: **24 de Junio a las 23:59 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, cuyo link debiera ser entregado para la tarea.
- 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: Benders Anidado (30 puntos)

Considere el siguiente problema de despacho hidro-termico, en el cual se debe determinar como utilizar los generadores termicos e hidraulicos para satisfacer la demanda del sistema para 3 semanas. El sistema esta descrito por los siguientes parámetros:

- Cada semana es representada por una hora representativa con una demanda de 150 MW constante.
- El sistema posee tres generadores térmicos con costos variables de generación de 50, 100 y 150 USD/MWh. Los tres generadores tienen una capacidad instalada de 50 MW cada uno, dando un total de 150 MW.
- El sistema además posee un generador hidraulico con capacidad de almacenamiento (embalse), el cual posee un costo variable de generacion de 0 USD/MWh, capacidad

maxima de almacenamiento de 300 MWh, potencia maxima de 150 MW, y un almacenamiento inicial de 100 MWh.

- Al comienzo de cada semana, los afluentes hídricos (inflows) llegan al embalse, los cuales pueden ser utilizados en el mismo periodo o almacenados para el futuro. Los afluentes dependen de la semana y son inciertos, siendo estos caracterizados por los escenarios descritos en el Cuadro 1.

Semana	Escenario	Probabilidad	Afluente [MWh]
1	0	1	50
2	1	0.5	25
2	2	0.5	75
3	1	0.5	25
3	2	0.5	75

Cuadro 1: Escenarios de afluentes

Basado en lo anterior, se pide que resuelva el problema de despacho hidro-termico usando el método de Benders Anidado. En particular, se pide que realice 1 barrido completo Forward, 1 barrido completo Backwards, y 1 ultimo barrido completo Forward. (OJO: No es necesario que haga mas iteraciones, incluso si el algoritmo no termina de converger). Muestre como las soluciones candidatas y cortes de optimalidad/factibilidad van siendo actualizadas a medida que progresa el algoritmo. Para esto, se sugiere utilizar figuras similares a las presentadas en [1] (ver Fig. 6-11 en la sección “Application of the Algorithm to Hydrothermal Optimization”).

## Problema 2: SDDP.jl (10 puntos)

Para este problema, se explorará la aplicación del algoritmo Stochastic Dual Dynamic Programming (SDDP) para la resolución de problemas de coordinación hidro-térmica de mayor escala. Para esto, se le pide descargar el paquete SDDP.jl en Julia, y realizar el tutorial correspondiente, incluyendo el ejemplo de despacho hidro-térmico (link [acá](#)).

Luego de realizar el tutorial, se pide que vuelva a resolver el problema de despacho hidro-térmico descrito en “Problema 1: Benders Anidado”, pero esta vez considerando 100 semanas y un mayor numero de escenarios (ver [escenarios.xlsx](#)), para lo cual podrá usar SDDP.jl. Para este nuevo caso, se pide que corra el algoritmo SDDP con un numero de máximo de iteraciones  $N = 5, 20, 50, 100$ , y compare la calidad de los resultados obtenidos. En particular, se pide que presente los siguientes resultados y los compare para distintos valores de  $N$ :

- Evolución de agua almacenada al final de cada semana para 100 posibles realizaciones (muestreadas aleatoriamente).
- Cotas superior e inferior. Considere un total de 2000 escenarios y un intervalo de confianza del 95 % para la estimación de la cota superior.
- Función de costos futuros del agua almacenada para la primera etapa
- Costo marginal (variable) del agua almacenada para la primera etapa

Compare y analice los resultados obtenidos, y explique porque estos son relevantes para la operación diaria de sistemas eléctricos de potencia con alta presencia de fuentes de generación hidráulica, tal como el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) en Chile (link acá).

### Problema 3: Operación detallada (10 puntos)

Hasta ahora, los Problemas 1 y 2 se han enfocado en sistemas relativamente simples, en donde detalles operacionales asociados a las restricciones técnicas de transmisión y generación han sido omitidas o simplificadas. Para este problema, se le pide que analice como integrar el siguiente modelo operacional detallado dentro de un algoritmo SDDP para la coordinación hidro-térmica con afluentes hídricos inciertos  $I$ :

$$\min_{\mathbf{p}, \mathbf{f}, \mathbf{v}, \mathbf{q}, \mathbf{s}} \sum_{g \in \mathcal{G}} \sum_{t \in \mathcal{T}} C_g(p_{g,t})$$

sujeto a:

$$\begin{aligned} \sum_{g \in \mathcal{G}(n)} p_{g,t} + \sum_{h \in \mathcal{H}(n)} \eta_h q_{h,t} - D_{n,t} &= \sum_{l \in \mathcal{L}^{FR}(n)} f_{l,t} - \sum_{l \in \mathcal{L}^{TO}(n)} f_{l,t} \quad \forall n \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{T} \\ v_{h,t} - v_{h,t-1} &= I_{h,t} + \sum_{k \in \mathcal{H}^{Q,\uparrow}(h)} q_{k,t} + \sum_{k \in \mathcal{H}^{S,\uparrow}(h)} s_{k,t} - q_{h,t} - s_{h,t} \quad \forall h \in \mathcal{H}, t \in \mathcal{T} \\ V_h^{min} \leq v_{h,t} &\leq V_h^{max}, \quad Q_h^{min} \leq q_{h,t} \leq Q_h^{max}, \quad \forall h \in \mathcal{H}, t \in \mathcal{T} \\ (\mathbf{p}_t, \mathbf{f}_t) &\in \Omega \quad \forall t \in \mathcal{T} \end{aligned}$$

donde  $\Omega$  corresponde al conjunto de restricciones asociadas a el problema de Despacho Económico con Flujo DC.

En particular, se le pide realizar el primer paso para la construcción de un algoritmo SDDP para resolver el problema. Esto es, reescribir el problema en formato de programación dinámica, para lo cual deberá explicitar lo siguiente:

- Variables de control (también conocidas como variables de decisión).
- Variables de estado.
- Conjunto de restricciones asociadas a variables de control (desacopladas temporalmente).
- Conjunto de restricciones asociadas a variables de estado (desacopladas temporalmente).
- Conjunto de restricciones de acople temporal entre distintas etapas.
- Definición recursiva del problema de optimización multi-etapa (value function).

**OJO:** No es necesario realizar una implementación computacional en este caso, sino mas bien explicar con precisión el modelo de programación dinámica resultante y los problemas de optimización a resolver.

## Problema 4: Publicaciones recientes (10 puntos)

Como grupo deben investigar y analizar sobre aplicaciones y extensiones del problema de despacho hidro-térmico visto en clases. Para ello, se les solicita que revisen las dos siguientes publicaciones/papers [2, 3], y que realicen un resumen detallado de ambos destacando las siguientes áreas:

- (a) Descripción general del problema identificado en el paper y su relación con el problema de coordinación hidro-térmica.
- (b) Métodos matemáticos y computacionales utilizados para resolver el problema identificado en el paper, haciendo énfasis en como estos se relacionan con los métodos vistos en clases.
- (c) Resultados principales obtenidos y conclusiones relevantes del estudio.
- (d) Implicaciones prácticas y potenciales beneficios de las aplicaciones o extensiones del despacho hidro-termico identificados en el paper.

Recuerde que puede acceder a papers de forma gratuita a través de Bibliotecas UC (link acá) usando su usuario y clave UC.

## Referencias

- [1] M. V. F. Pereira and L. M. V. G. Pinto, “Stochastic optimization of a multireservoir hydroelectric system: A decomposition approach,” *Water Resources Research*, vol. 21, no. 6, pp. 779–792, 1985. [Online]. Available: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/WR021i006p00779>
- [2] A. Navarro, M. Favereau, Álvaro Lorca, D. Olivares, and M. Negrete-Pincetic, “Medium-term stochastic hydrothermal scheduling with short-term operational effects for large-scale power and water networks,” *Applied Energy*, vol. 358, p. 122554, 2024. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261923019189>
- [3] A. Durán, M. Favereau, Álvaro Lorca, S. Vicuña, Óscar Melo, and M. Negrete-Pincetic, “Evaluation of multipurpose reservoir operating policies at basin and electric power system scales,” *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 150, no. 7, p. 04024021, 2024. [Online]. Available: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/JWRMD5.WRENG-6349>