

# **Comparación de programación de la operación CP con Recursión de Bellman y con Aprendizaje por Refuerzo (AR).**

IMPORTANTE: Este trabajo se realizó en el marco del curso Simulación de Sistemas de Energía Eléctrica (SimSEE) y fue evaluado por el enfoque metodológico, la pericia en la utilización de las herramientas adquiridas en el curso para la resolución del estudio y por la claridad de exposición de los resultados obtenidos. Se quiere dejar expresamente claro que no es relevante a los efectos del curso la veracidad de las hipótesis asumidas por los estudiantes y consecuentemente la exactitud o aplicabilidad de los resultados. Ni la Facultad de Ingeniería, ni el Instituto de Ingeniería Eléctrica, ni el o los docentes, ni los estudiantes asumen ningún tipo de responsabilidad sobre las consecuencias directas o indirectas que asociadas al uso del material del curso y/o a los datos, hipótesis y conclusiones del presente trabajo.

Autores:

Milena Borsieri

Maria Victoria Rincon

Jorge Luis Alvarez

Trabajo final, curso SimSEE  
IIE – FING – UDELAR

*30/07/2025*

*Montevideo – Uruguay.*

# Objetivo

Se realizará una comparación entre programación de la operación de un CP (Corto Plazo) utilizando Recursión de Bellman y Aprendizaje por refuerzo (AR),

Se pondrá foco en el **Costo Futuro del Valor Esperado, tiempos de optimización y Previsión de generación por fuente.**

- Herramientas de la plataforma SIMSEE utilizadas:
- Editor de salas: para configuración de sala, Optimización por Bellman y simulaciones.
- Módulo Tractorcito: para optimización por AR.
- Módulo SimRes3: Obtención de las Previsiones de generación por fuente.

# Hipótesis de trabajo

- Se trabaja sobre un sala de Corto Plazo de 240 horas (tanto para opti. como para simu.)
- Se plantean 3 juegos de discretizaciones para los embalses de Bonete, Palmar y Salto Grande ([10,10,10]; [30,30,30] y [50,30,30]).
- Se estudian 8 casos: se usan 6 para test de tiempos, 8 para test de Costos Futuros y 4 para Previsión de generación por fuente.
- Optimizaciones con AR: 100 estrellitas, 1 semilla Madre, varias RN.
- Simulaciones: 10 sim por opti, 1000 crónicas por simu, 10 semillas de simu por opti.

# Metodología

- Tema tiempos: obtención de tiempos de corrida para optimizaciones con Bellman y AR al cambiar las discretizaciones de los lagos de centrales hidro. Se utilizan los módulo de optimización standard (Bellman) y Tractorcito (AR).
- Tema costos: obtención de Costos Futuros para las distintas configuraciones de discretización y configuraciones AR. Se utiliza el módulo de simulación.
- Tema Despachos: Obtención de los despachos correspondientes a las optimizaciones y simulaciones realizadas. Se utiliza el módulo SimRes3.

# Resultados del estudio

- Tiempos:

Nro disc. Bon	Nro disc. Pal	Nro disc SG	tiempo Bellman (min)	tiempo Tractorcito (min)
10	10	10	2	50
30	30	30	57	42
50	30	30	100	48

Tiempos de optimización para Bellman y AR (Tractorcito) según las distintas discretizaciones de los embalses de Bon, Pal y Salto Grande.

# Resultados del estudio

## •Costos Futuros:

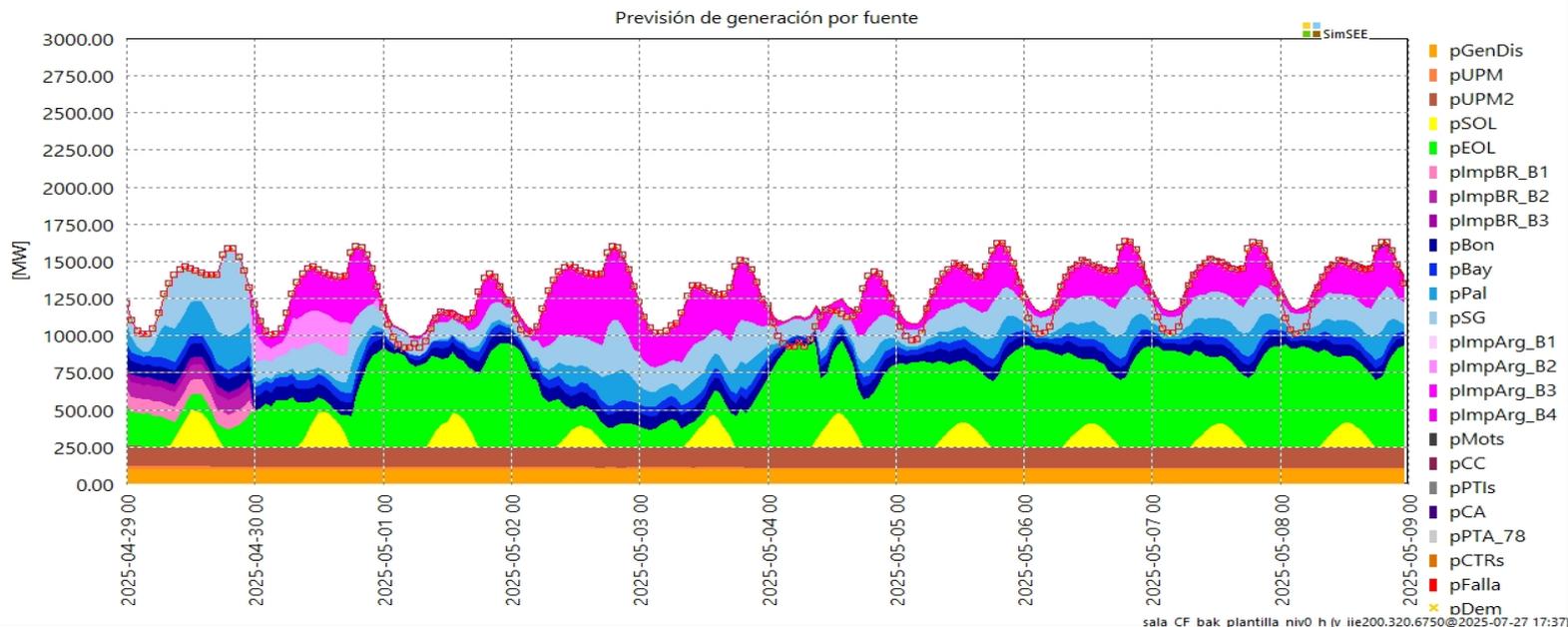
N° disc. Bon	N° disc. Pal	N° disc SG	CF Bellman [MUSD]	CF AR. [MUSD]	Dif AR-Bell [MUSD]	Dif AR-Bell [%]	RNA (casos AR)	Iter (casos AR)
10	10	10	(1) 368.488	(4) 369	0.51	0.14	cerebro 24th	40
30	30	30	(2) 367.575	(5) 369.023	1.45	0.39	cerebro 24th	40
50	30	30	(3) 367.424	(6) 369.058	1.63	0.44	cerebro 24th	40
50	30	30	(3) 367.424	(7) 368.489	1.07	0.29	tannat 121212 th	208
50	30	30	(3) 367.424	(8) 368.414	0.99	0.27	tannat 888 th	257

Entre paréntesis (n) se identifica el caso.

Casos Bellman: 1, 2, y 3 - Casos AR: 4, 5, 6, 7 y 8..

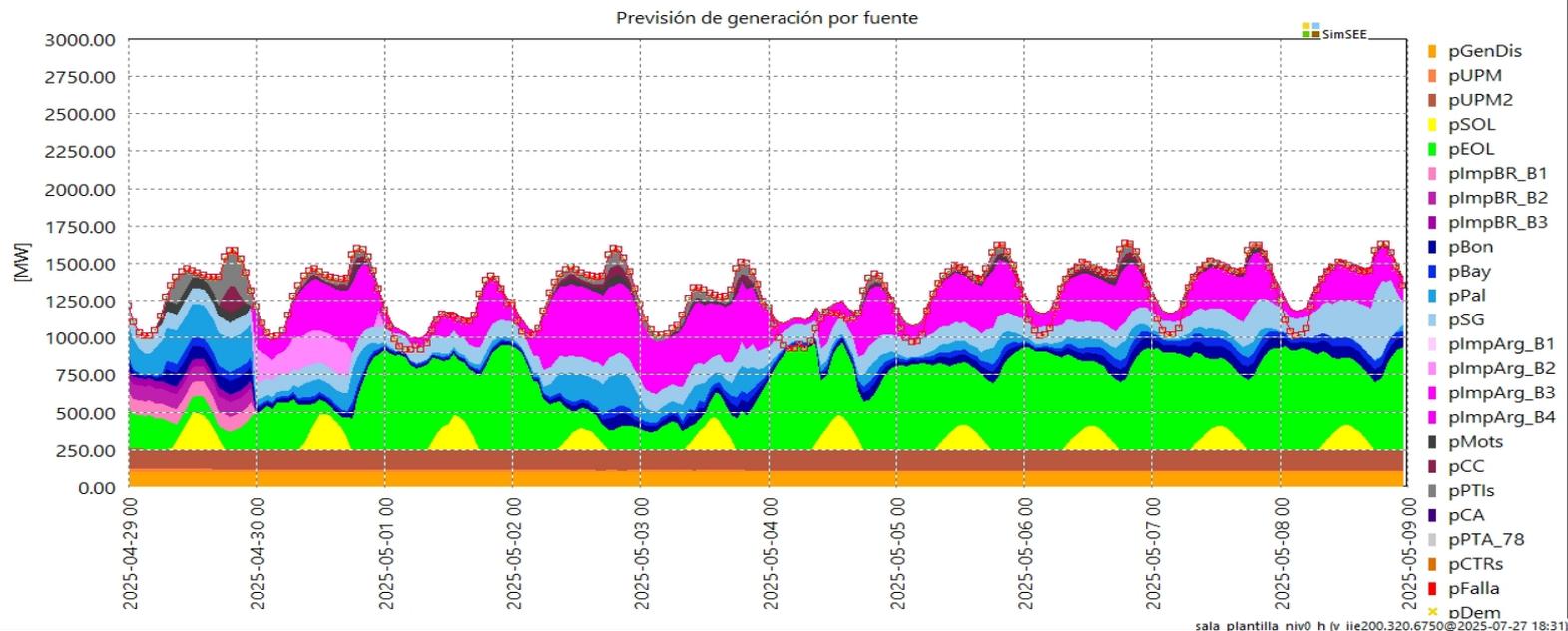
# Resultados del estudio

- Previsión de generación por fuente, caso 3, Bellman:



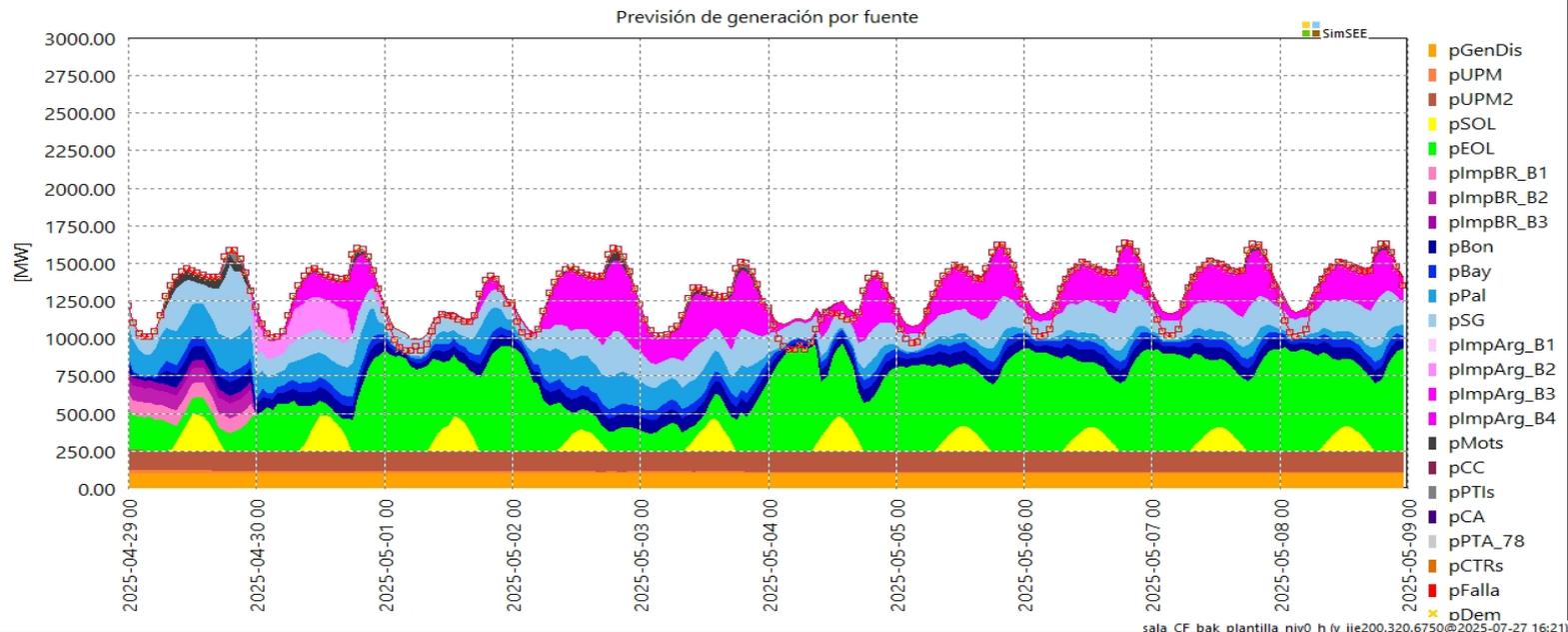
# Resultados del estudio

- Previsión de generación por fuente, caso 6,AR, C, 24th



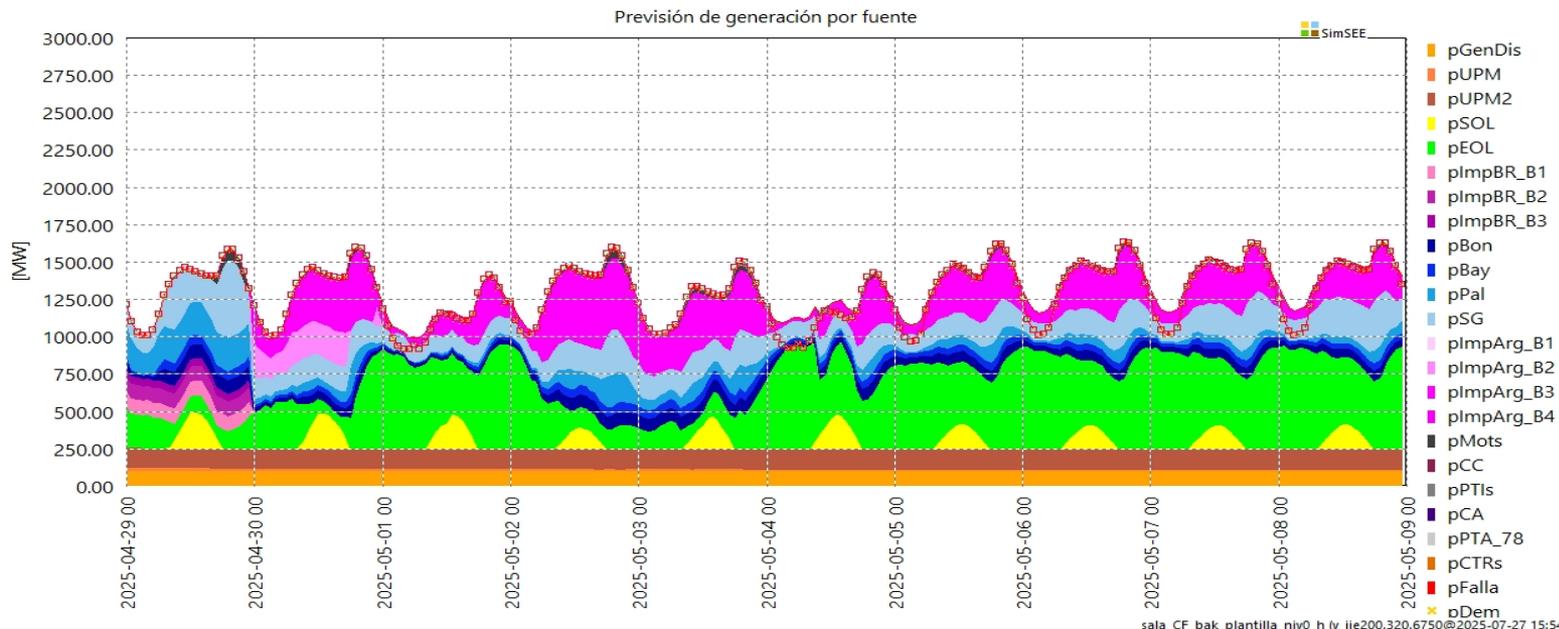
# Resultados del estudio

## • Previsión de generación por fuente, caso 7, AR, T, 121212



# Resultados del estudio

## • Previsión de generación por fuente, caso 8, AR, T, 888



# Resultados del estudio

- Simulaciones para la optimización con Bellman (caso 3):

nro sim	sem-opti	sem-sim	crónicas sim	CF VE[MUSD]	CF VaR(5%)[MUSD]	CF CVar(5%)[MUSD]	cdp VE[MUSD]
1	31	31	1000	367.31	376.34	378.17	7.45
2	31	1031	1000	367.56	376.04	378.42	7.52
3	31	2031	1000	367.68	376.7	379.13	7.62
4	31	3031	1000	367.62	376.95	378.91	7.52
5	31	4031	1000	367.62	376.8	378.65	7.53
6	31	5031	1000	367.48	376.18	378.19	7.46
7	31	6031	1000	367.37	376.22	378.29	7.53
8	31	7031	1000	367.25	376.83	378.54	7.57
9	31	8031	1000	367.32	376.38	378.29	7.52
10	31	9031	1000	367.03	375.51	377.59	7.56
prom				367.424	[MUSD]		
max-min				0.65	[MUSD]		
des.std				0.194	[MUSD]		

**Caso (3), Datos crudos Bellman, discretizaciones 50,30,30**

# Conclusiones

- Se constata el aumento en los tiempos de corrida para la optimización con Bellman cuando se incrementan las discretizaciones en los lagos de Bon. Pal. y SG. (de 2 min a 100 min). Esto no presentó efectos en las optimizaciones con AR (Tractorcito).
- Los CF del valor esperado de la operación, obtenidos con AR, son similares (menor al 0.5% de diferencia) a los obtenidos con Bellman.
- Aunque los CF muestran diferencias menores entre Bellman y AR, se observan diferencias en la forma de despachar las distintas fuentes de energía.
- Los parámetros de las RN (tipo, arquitectura) y el nro de iteraciones son dos parámetros de optimización para AR que afectan la mejora de los CF.
- Hallazgo: En optimizaciones con AR, no siempre la última iteración es la política con menor CF.

# Posibles trabajos futuros

- En el caso del módulo de AR (Tractorcito), se podría ahondar en el análisis de diferentes arquitecturas y tipos de RN. Existen 8 tipos de neuronas distintas (con func. de activación distintas)
- Mejora en los algoritmos de exploración para AR.
- Comparación de Bellman y AR respecto a Mediano y Largo plazo, así como también salas que contemplen distintos escenarios hídricos.
- Seguir investigando el resto de los parámetros de Tractorcito que no fueron modificados y que podrían ser tenidos en cuenta en futuros estudios.

FIN

- Gracias por vuestra atención.