

## **Sensibilidad de la PO en la cadena de salas LP, MP, CP a los parámetros utilizados.**

*Machado, Santiago*

*Martínez, Sergio*

*Osorio, Fabián*

*Instituto de Ingeniería Eléctrica – FING.*

*Trabajo final curso SimSEE edición 2018*

*Montevideo - Uruguay.*

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.

### **1 Objetivo.**

El objetivo del trabajo es analizar la sensibilidad de la Política de Operación en la cadena de salas LP, MP, CP ante determinados parámetros.

En particular se estudia el efecto al variar los siguientes parámetros:

- a) Discretización de los embalses
- b) Paso de tiempo

### **2 Hipótesis de trabajo.**

En las diferentes etapas de programación de la operación se utilizan 3 salas SimSEE conocidas como LP, MP y CP (Largo Plazo, Mediano Plazo y Corto Plazo respectivamente)

En la sala LP se valoriza el agua del lago de Rincón de Bonete, con paso de simulación semanal.

En la sala MP, se agregan los lagos de Salto y Palmar y se realiza la simulación con paso diario, se cubren algunos meses y se incorpora información de pronósticos de aporte hidráulicos y del Niño.

En la sala CP, se incorporan pronósticos de generación eólica, solar y demanda y se simula con paso horario. La sala CP se engancha con la política de operación de la MP. La sala MP se engancha con la política de operación de la LP.

### 3 Metodología.

Se trabajó con las siguientes salas descargadas de la página web de ADME:

Corto Plazo: sala.esa (Vates)  
Mediano Plazo: PES\_ABR2018\_MP.esa  
Largo Plazo: PES\_MAY2018.esa

En cuanto a la discretización de los embalses, las salas de corto y mediano plazo están configuradas de la siguiente manera:

Bonete: 10 discretizaciones  
Palmar y Salto Grande: 12 discretizaciones

La sala de largo plazo por su parte tiene discretizada únicamente Bonete en 10 discretizaciones.

Con respecto al paso del tiempo, la sala de corto plazo tiene paso horario, la de mediano plazo paso diario y la de largo plazo paso semanal.

#### a) Discretización de los embalses

Se corrieron todas las salas (CP, MP y LP) con las discretizaciones de los embalses por defecto y luego para cada sala se corrieron dos casos:

- Caso 1: Discretización al doble en todos los embalses
- Caso 2: Discretización a la mitad en todos los embalses.

Configuración de las salas:

- Los enganches se realizaron entre salas con igual discretización de los embalses, es decir, la sala de MP con discretización al doble se enganchó con la sala LP con la discretización al doble y así en todos los casos
- Se quitaron todas las penalizaciones en las centrales hidráulicas
- No se estabilizó en frame inicial

## b) Paso del Tiempo

Se corrieron las salas de CP y de LP con los pasos de tiempo por defecto y luego para cada sala se corrieron dos variaciones en el Paso del tiempo (una superior y una inferior)

A su vez cada caso se simuló con forzamiento y sin forzamiento en la disponibilidad de máquinas.

En ambas series de salas (discretización y paso de tiempo) las optimizaciones se corrieron sin forzamiento en la disponibilidad de máquinas y los resultados fueron obtenidos con el post-procesador SimRes3.

Para realizar un análisis comparativo de los resultados se programó código en lenguaje Python.

En resumen, las salas analizadas se pueden ver en la Tabla 1:

VARIANDO DISCRETIZACIÓN	Caso LP Base
	Caso LP Medio
	Caso LP Doble
	Caso MP Base
	Caso MP Medio
	Caso MP Doble
	Caso CP Base
	Caso CP Medio
	Caso CP Doble
VARIANDO PASO DEL TIEMPO	Caso LP Base SF en Opt. CF en Sim.
	Caso LP Base SF en Opt. SF en Sim.
	Caso LP Quincenal SF en Opt. CF en Sim.
	Caso LP Quincenal SF en Opt. SF en Sim.
	Caso LP 4 días SF en Opt. CF en Sim.
	Caso LP 4 días SF en Opt. SF en Sim.
	Caso CP Base SF en Opt. CF en Sim.
	Caso CP Base SF en Opt. SF en Sim.
	Caso CP 4 horas SF en Opt. CF en Sim.

	Caso CP 4 horas SF en Opt. SF en Sim.
	Caso CP 8 horas SF en Opt. CF en Sim.
	Caso CP 8 horas SF en Opt. SF en Sim.

Tabla 1. Casos de Estudio

### c) Visualización de las variables

Todas las variables graficadas a continuación tienen un intervalo de confianza que ilustra su dispersión construido a partir de los percentiles de 5% y 95%.

## 4 Resultados del estudio.

### 4.1 Análisis de los resultados al variar la discretización de los embalses:

#### 4.1.1 Salas de Largo Plazo:

En la Figura 1 se presentan las evoluciones del costo de abastecimiento de la demanda en valor esperado para la sala de largo plazo con las tres discretizaciones de los embalses.

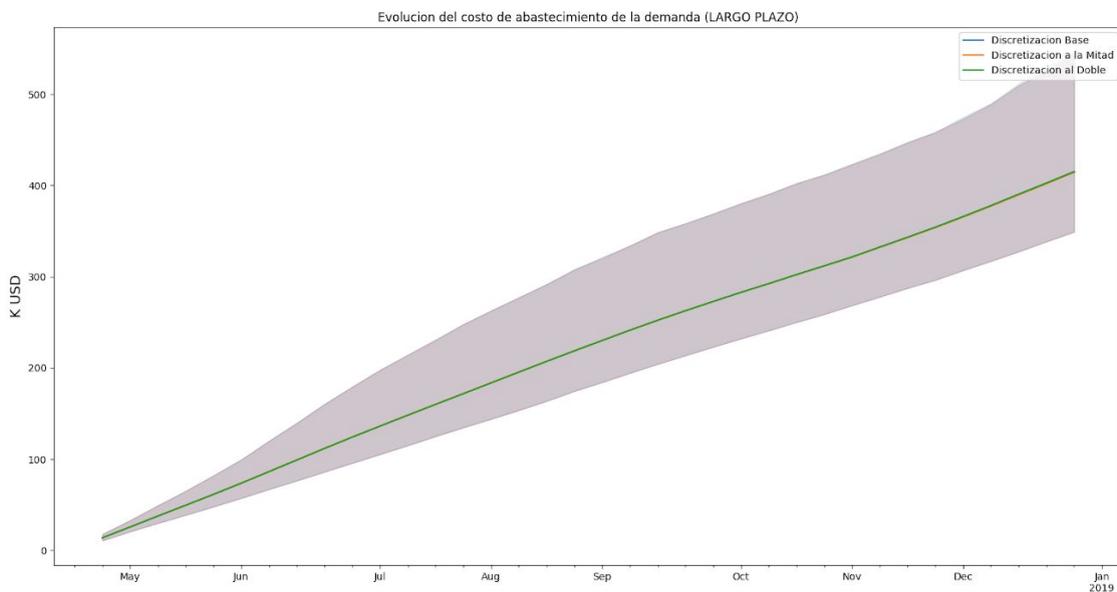


Figura 1. Evolución del costo de abastecimiento de la demanda (LP)

En la misma se observa que no hay diferencias significativas al aumentar o disminuir la discretización.

En cuanto al Costo Futuro en estas salas fue el siguiente:

- Base: MUSD 1025
- Medio: MUSD 1057
- Doble: MUSD 1013

Con estos valores vemos que al aumentar la discretización la PO mejora en un 1.1% mientras que al bajarla se tiene un CF un 3.1 % mayor.

En la Figura 2 se presenta la evolución de las cotas de Bonete en valor esperado en la sala de largo plazo para las tres discretizaciones de los embalses.

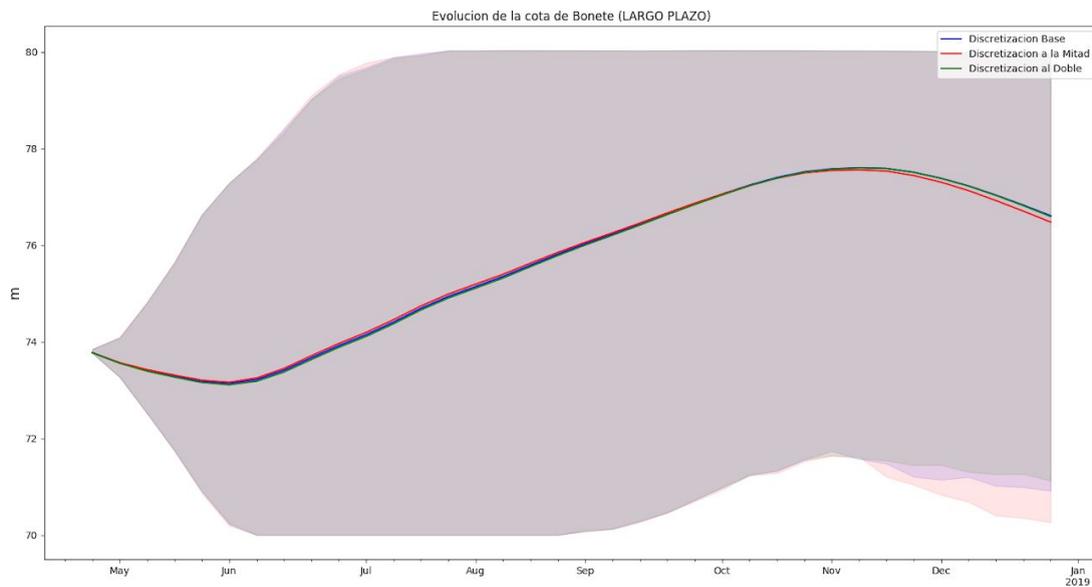


Figura 2. Evolución de la cota de Bonete (LP)

Se observa que las tres salas manejan el lago de Bonete de forma muy similar existiendo una dispersión muy grande en los resultados

#### 4.1.2 Salas de Mediano Plazo:

En la Figura 3 se presenta la evolución del costo de abastecimiento de la demanda en valor esperado para las tres discretizaciones de los embalses.

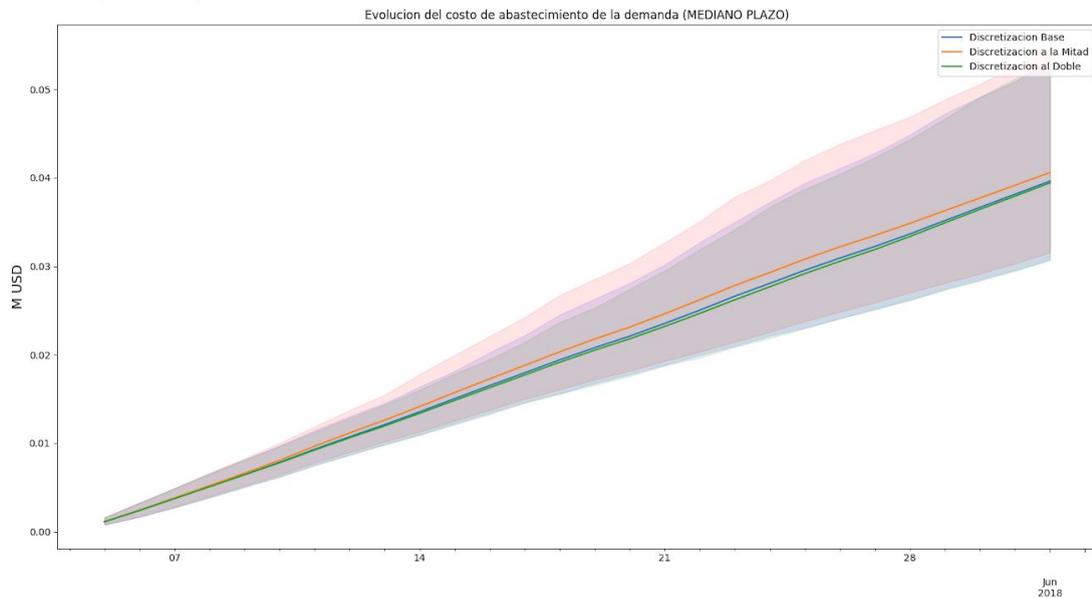


Figura 3. Evolución del costo de abastecimiento de la demanda (MP)

Observamos que no hay diferencias significativas al aumentar o disminuir la discretización siendo levemente superior la de menor discretización.

El Costo Futuro en estos casos fue el siguiente:

- Base: MUSD 1860
- Medio: MUSD 1862
- Doble: MUSD 1862

Con estos valores se puede inferir que aumentar o bajar la discretización no tiene efecto sobre este punto

En la Figura 4 se presentan las evoluciones de las cotas de Bonete en la sala de mediano plazo para las tres discretizaciones de los embalses.

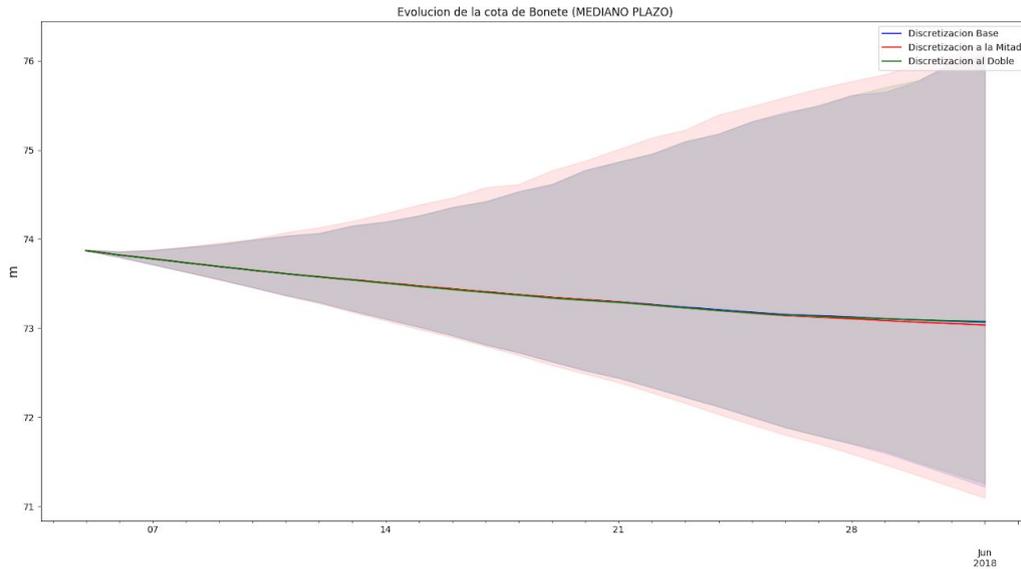


Figura 4. Evolución de la cota de Bonete (MP)

En la misma se observa que, al igual que en el LP, las tres salas manejan el lago de Bonete de la misma manera. También se nota una menor dispersión comparada con las salas de LP.

#### 4.1.3 Salas de Corto Plazo:

En la Figura 5 se presenta la evolución del costo de etapa acumulado en valor esperado en las salas de corto plazo para las tres discretizaciones de los embalses con sus respectivos intervalos de confianza.

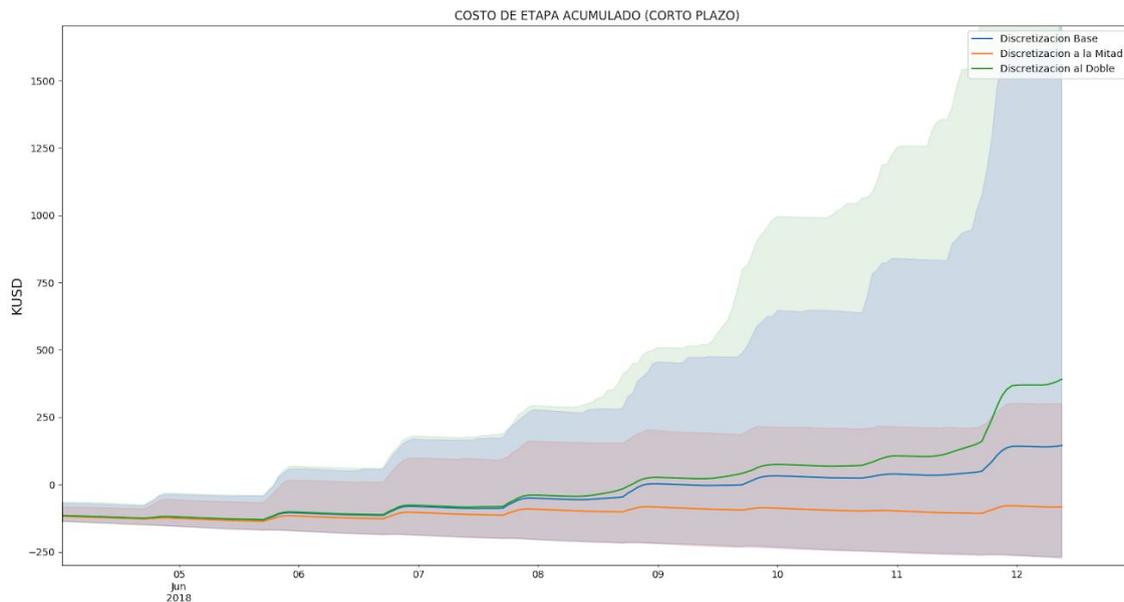


Figura 5. Costo de etapa acumulado (CP)

En este caso se observa que el aumento de la discretización repercute en un aumento significativo del costo acumulado y también de su incertidumbre, mientras que bajar la discretización produce un costo acumulado en promedio inferior con menor incertidumbre.

El Costo Futuro en estos casos fue el siguiente:

- Base: MUSD 1838
- Medio: MUSD 1911
- Doble: MUSD 1839

Aquí se nota una diferencia apreciable cuando se baja la discretización a la mitad con un aumento del 4% respecto a la sala con la discretización base siendo este efecto despreciable en el caso de aumentar la discretización al doble

En las Figura 6, 7 y 8 se presenta la evolución de las cotas de Bonete, Palmar y Salto Grande en la sala de corto plazo en valor esperado para las tres discretizaciones de los embalses.

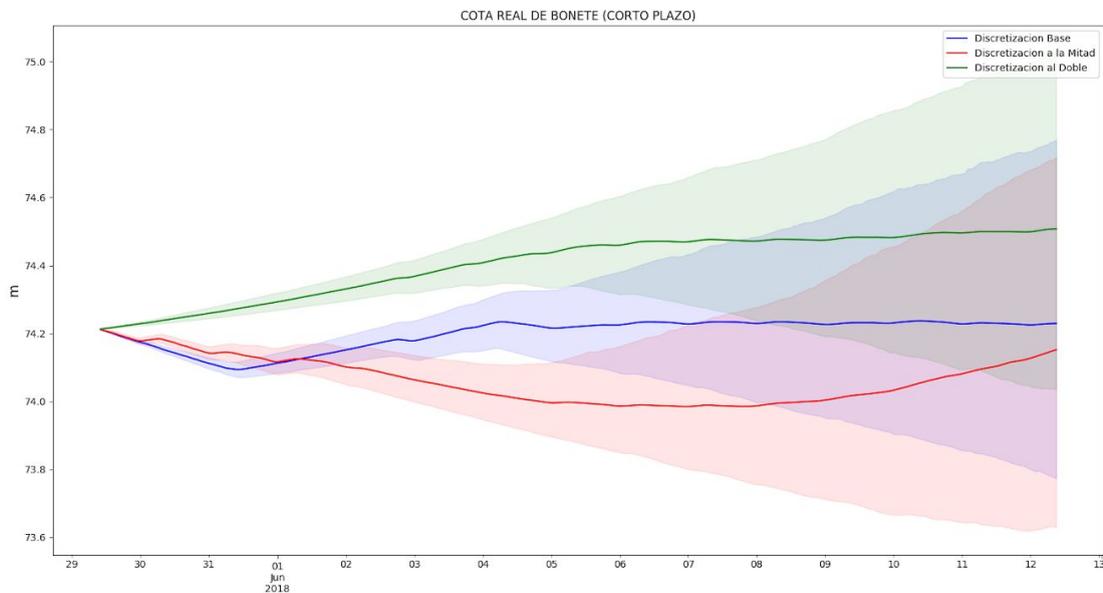


Figura 6. Cota real de Bonete (CP)

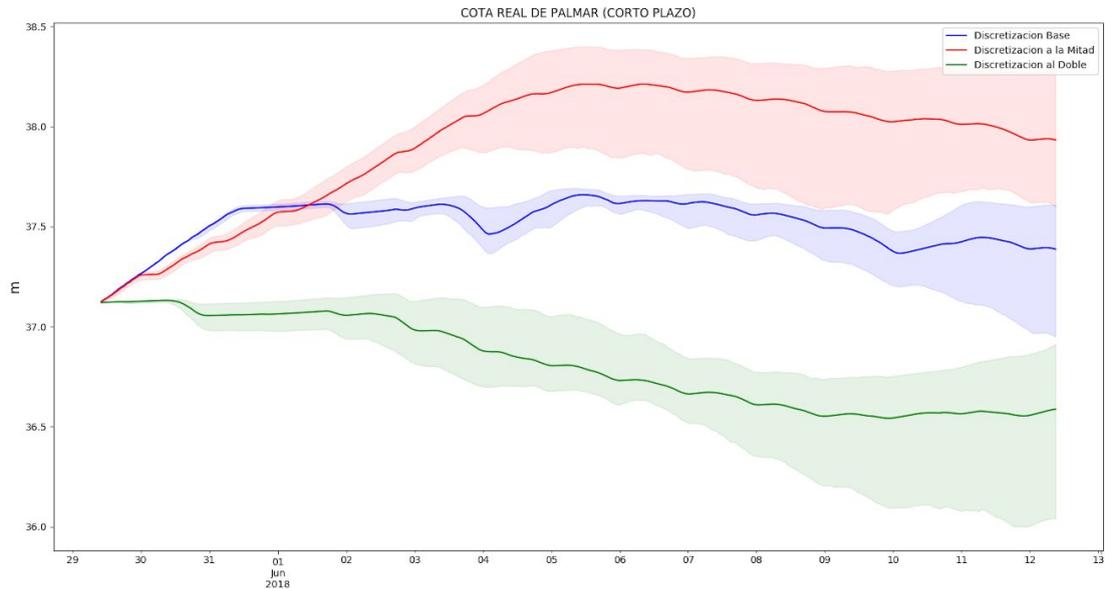


Figura 7. Cota real de Palmar (CP)

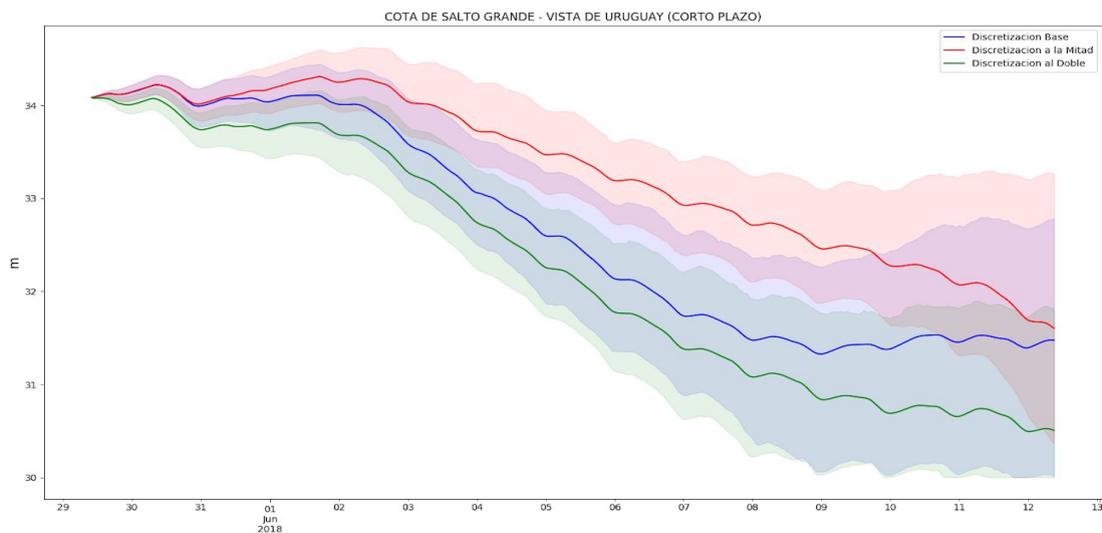


Figura 8. Cota de Salto Grande (CP)

En las Figuras anteriores se observa que al bajar la discretización se utiliza más Bonete y menos Palmar y Salto Grande. En el caso de aumentarla ocurre lo contrario.

En cuanto a las cotas vemos que el manejo de Bonete y Palmar es adecuado pero en el caso de Salto Grande, la sala configurada con el doble de discretización, lleva a niveles muy bajos el embalse de esta represa (30.5 mts.).

Cuadro resumen con los resultados:

	Discretización	Costo Abastecimiento	Costo Futuro	Manejo Embalses
LP	Mitad	Sin efecto	Aumento 3 %	Sin Efecto
	Doble	Sin efecto	Sin Efecto	Sin Efecto
MP	Mitad	Sin efecto	Sin Efecto	Sin Efecto
	Doble	Sin efecto	Sin Efecto	Sin Efecto
CP	Mitad	Baja	Aumento 4 %	Aumento Uso TER Baja uso de SGU y PAL
	Doble	Aumenta	Sin Efecto	Baja Uso TER Aumento uso de SGU y PAL Lleva cota de SGU a 30,50 mts

Tabla 2. Resumen de resultados

Como conclusiones con respecto a la sensibilidad de la política de Operación al variar las discretizaciones podemos decir:

- *Costo de abastecimiento de la demanda durante el período de simulación:*  
Cambiar la discretización (tanto aumentándola como disminuyéndola) no tiene efecto sobre este punto en MP y LP.  
En el CP hay un incremento cuando se aumenta la discretización y una bajada cuando se reduce.
- *Costo Futuro:*  
En este caso no hay efecto apreciable en el MP. Por su parte en las salas de CP y LP se nota un aumento del orden de 3-4% en el caso de bajar la discretización a la mitad no teniendo efecto con el aumento de la misma al doble.
- *Manejo de embalses:*  
Las salas de MP y LP manejan los embalses de manera muy similar dentro de los parámetros normales de operación  
En el CP, aunque se ven diferencias en el manejo, las cotas están dentro de la operación normal del sistema a excepción de la cota de Salto Grande en la sala con el doble de discretización que la lleva cerca de la penalización (30.50 mts)
- *Tiempo de cálculo:*  
El aumento de la discretización llevó a un tiempo de cálculo en la optimización de más del doble en la de sala de MP y de más de ocho veces en la sala de LP  
Esto fue despreciable en la sala de CP.

En el caso de la simulación no se notaron diferencias significativas respecto al caso base

Como conclusión final podemos decir que, en LP y MP no hay una variación de la P.O. obtenida respecto a la discretización utilizada.

En CP en cambio, el aumento de la discretización produce una P.O. que degrada la operación del sistema (obtiene un costo acumulado mayor, lleva la cota de los embalses a zonas críticas (S.G.)). Y bajar la discretización tiene efectos tanto positivos como negativos, el costo acumulado en simulación es inferior en promedio pero el costo futuro que se observa al final de la simulación es un 4% mayor. En base a estos resultados no podemos inferir que utilizar una discretización menor en CP sea mejor o peor a la actualmente utilizada.

### **Análisis de los resultados al variar el paso del tiempo, con y sin forzamiento de disponibilidad de máquinas:**

#### **4.1.4 Salas de Largo Plazo**

La figura 9 muestra el costo de abastecimiento de la demanda en valor esperado

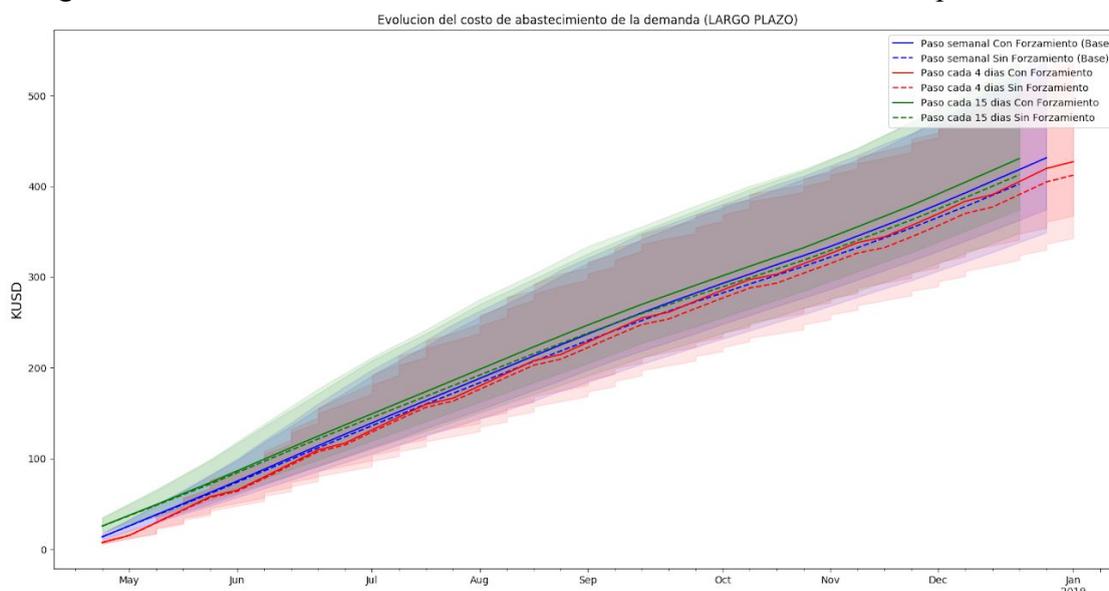


Figura 9. Costo abastecimiento de la demanda (LP)

En primer término observamos que en todos los casos el costo acumulado sin forzamiento es levemente inferior que en los casos con forzamiento. Este comportamiento es contrario a la intuición debido a que tener mayor disponibilidad de máquinas produciría en principio un costo menor ya que las máquinas más baratas se encuentran siempre disponibles para despachar. Más adelante veremos que en CP el comportamiento es inverso tal como es esperado.

Este comportamiento requiere un estudio más en profundidad ya que no se encontraron las razones que lo determinan. En cuanto al despacho, se observaron variaciones en el despacho proveniente de Biomasa e Hidráulica pero no se constataron sus causas.

Por otro lado vemos que cuando aumentamos el paso, el costo aumenta ocurriendo lo contrario cuando baja. De todos modos, la dispersión existente no permite afirmar que existan variaciones apreciables.

El Costo Futuro en estos casos fue el siguiente:

- Caso LP Base SF Opt SF Sim MUSD 1025
- Caso LP Base SF Opt CF Sim MUSD 1022
- Caso LP Quincenal SF Opt SF Sim MUSD 1041
- Caso LP Quincenal SF Opt CF Sim MUSD 1037
- Caso LP 4 días SF Opt SF Sim MUSD 1064
- Caso LP 4 días SF Opt CF Sim MUSD 1061

Esto muestra que no hay diferencias significativas con y sin forzamiento en ninguno de los casos.

Las diferencias se aprecian con el cambio en el paso de tiempo que aumenta tanto cuando se sube a 15 días como cuando se baja a 4 días (1.5 y 3.8 % respectivamente)

La figura 10 muestra la evolución de la cota de Bonete en valor esperado

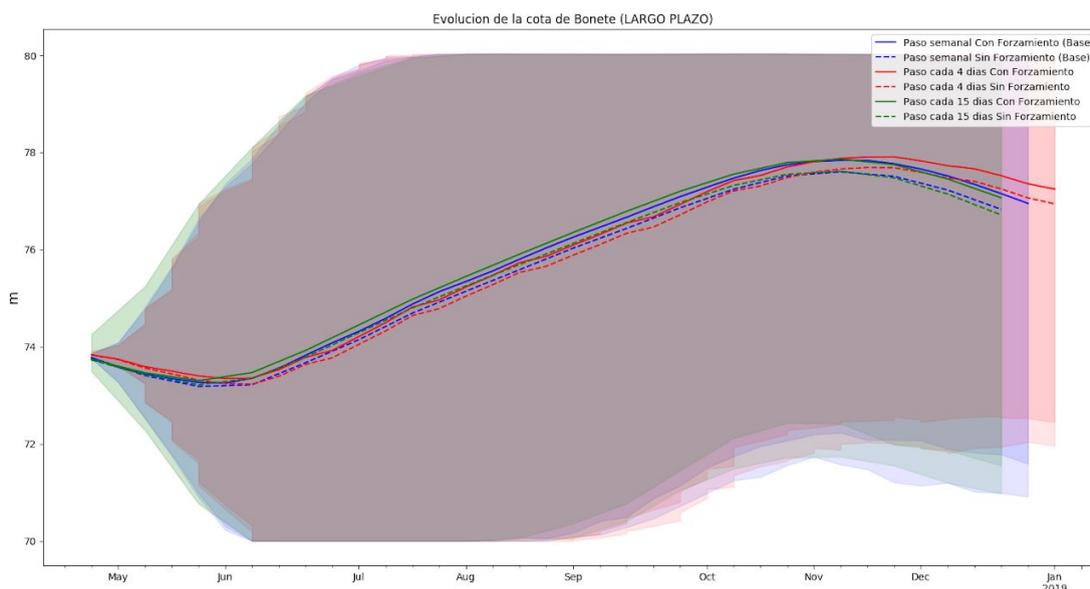


Figura 10. Evolución de la cota de Bonete (LP)

Se observa que el manejo en todos los casos es técnicamente igual dada la gran dispersión que existe en todo el rango de estudio.

### 4.1.5 Salas de Corto Plazo

La figura 11 muestra el costo de abastecimiento de la demanda en valor esperado

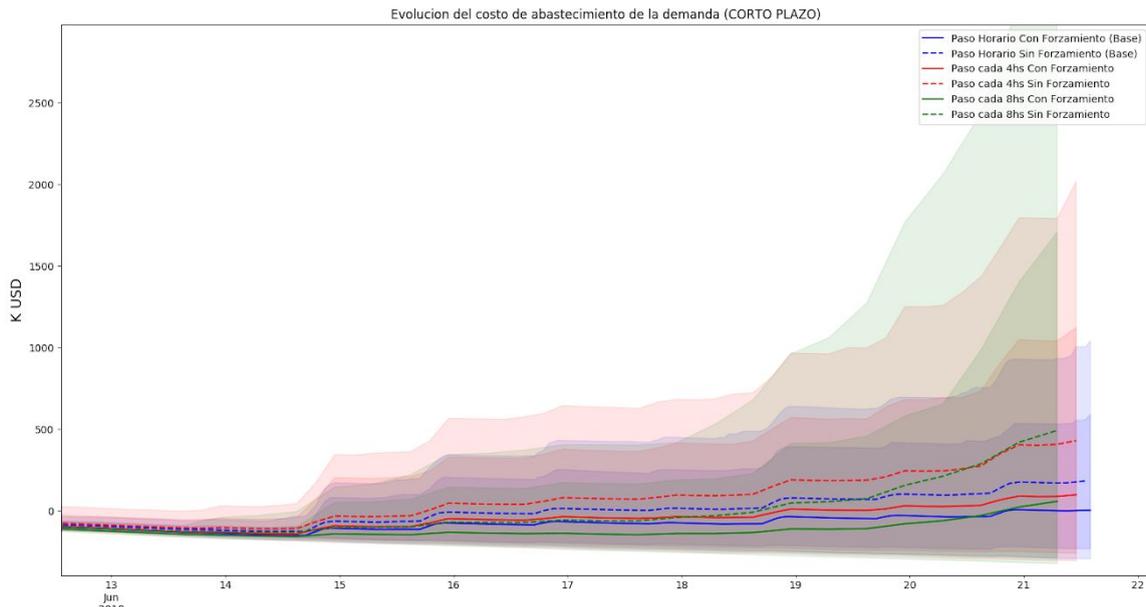


Figura 11. Costo de abastecimiento de la demanda (CP)

La primera conclusión que se aprecia es que el costo acumulado en todos los casos es mayor en el caso sin forzamiento.

También se observa que cuando se aumenta el paso a 8 horas, sobre el final del período hay una aumento significativo de la dispersión.

Las figuras 12, 13 y 14 muestran la evolución de las cotas de Bonete, Palmar y Salto Grande respectivamente en valor esperado.

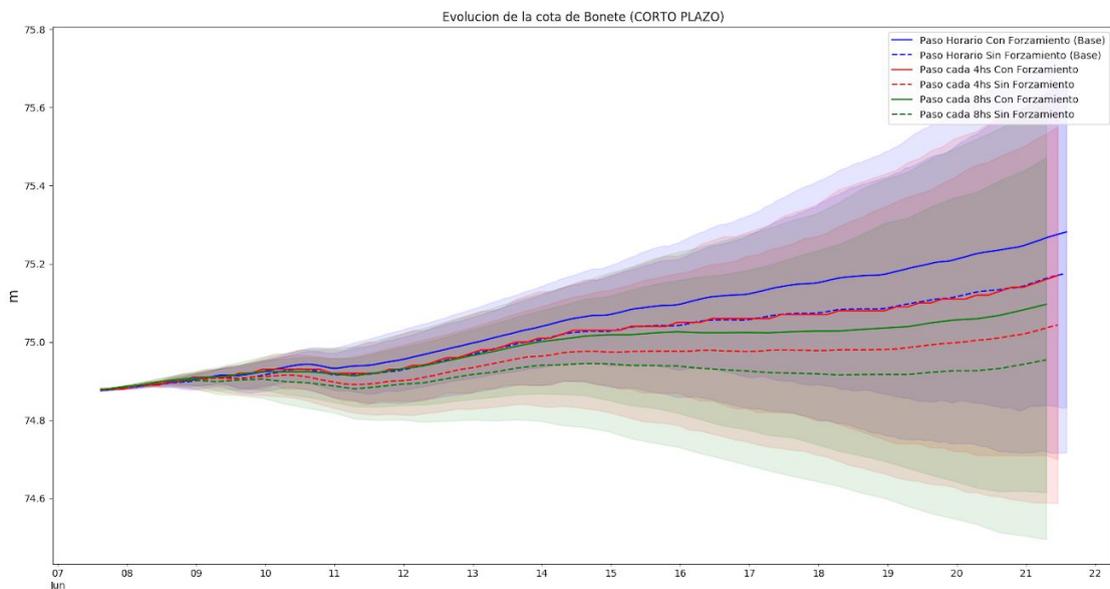


Figura 12. Evolución de la cota de Bonete (CP)

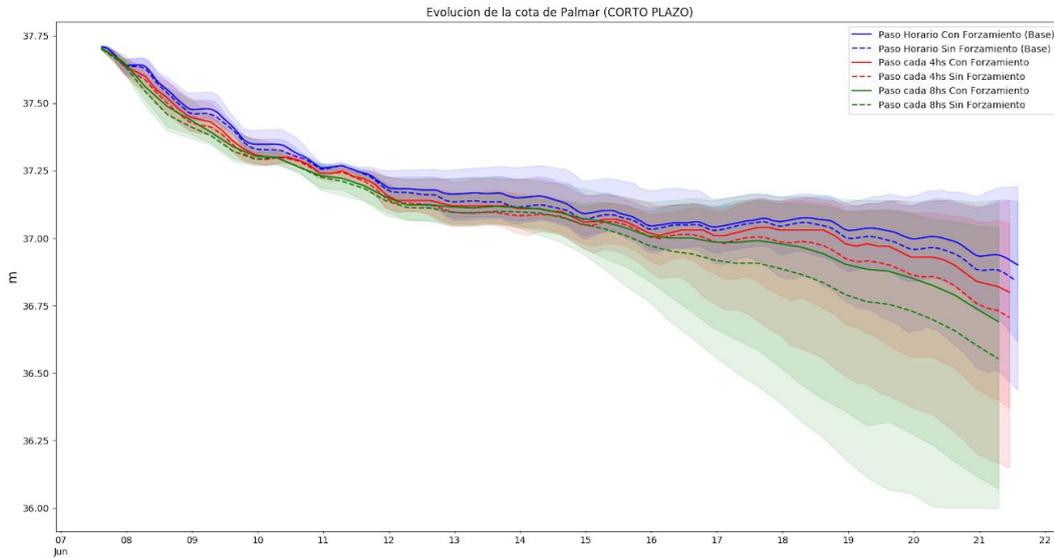


Figura 13. Evolución de la cota de Palmar (CP)

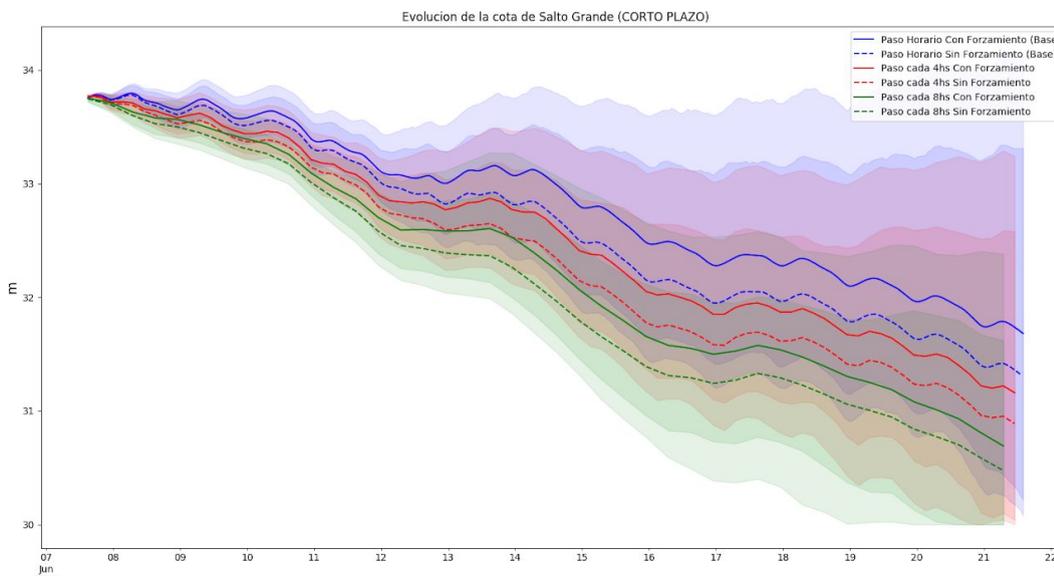


Figura 14. Evolución de la cota de Salto Grande (CP)

En este caso vemos que, a medida que aumentamos el paso de tiempo y sacamos el forzamiento de disponibilidad de máquinas, se hace un uso más intensivo de los recursos hidráulicos, llegando a cotas menores que el caso base.

En el caso de Salto Grande, cuando el paso de tiempo es de 8 horas lleva la cota a menos de 31 metros estando por debajo del umbral de penalización.

El Costo Futuro en estos casos fue el siguiente:

- Caso CP Base SF Opt SF Sim MUSD 1829
- Caso CP Base SF Opt CF Sim MUSD 1829
- Caso CP 4 horas SF Opt SF Sim MUSD 1829
- Caso CP 4 horas SF Opt CF Sim MUSD 1829
- Caso CP 8 horas SF Opt SF Sim MUSD 1830

- Caso CP 8 horas SF Opt CF Sim MUSD 1829

Cuadro resumen de resultados:

	Paso de Tiempo	Costo Abastecimiento	Costo Futuro	Manejo Embalses
LP	Quincenal	Aumenta	Aumento 1,5 %	Sin efecto significativo
	4 días	Baja	Aumento 3,8 %	Sin efecto significativo
CP	4 horas	Aumenta	Aumento 1,5 %	Llega a menores cotas en todos los embalses
	8 horas	Aumenta	Aumento 3,8 %	Llega a menores cotas en todos los embalses

Tabla 3. Resumen de resultados

Como conclusiones con respecto a la sensibilidad de la política de Operación al variar el paso del tiempo, con y sin forzamiento de disponibilidad de máquinas podemos decir:

- *Costo de abastecimiento de la demanda durante el período de simulación:* .  
En todos los casos analizados, cambiar el paso del tiempo implica una variación en el costo en el mismo sentido. Es decir, cuando aumentamos el paso del tiempo el costo aumenta y viceversa.
- *Costo Futuro:*  
En los casos de CP las variaciones son despreciables, mientras que en el LP nos llevaría a pensar que existe un CF óptimo en alguno de los pasos de tiempo. Debido a que, tanto si subimos como si bajamos la duración del paso de tiempo el costo aumenta siendo el caso base el de mejor comportamiento en este sentido
- *Manejo de embalses:*  
En las salas de LP no hay un efecto significativo  
En las salas de CP vemos que en todos los casos se llega a cotas menores en todos los embalses al aumentar el paso de tiempo.
- *Tiempo de cálculo:*  
El aumento del paso del tiempo la discretización no tuvo efectos significativos en las salas de CP.  
En las de LP aumentar el paso al doble llevó a una reducción en el tiempo de cálculo en la optimización de 40% mientras que bajarlo a 4 días implicó un aumento del doble más del doble comparados ambos con el caso base.  
Al igual que en las salas de discretización, en el caso de la simulación no se notaron diferencias significativas respecto al caso base.

En base a las pruebas realizadas, no se encontraron diferencias significativas respecto a los parámetros actualmente utilizados (discretización y paso de tiempo). En todo caso una variación de los mismos conduce a una desmejora de la P.O. obtenida.

El único caso que muestra una posible mejora es la disminución de la discretización en la sala de CP, pero su afirmación requiere de mayores verificaciones.

## **5 Posibles trabajos futuros.**

a) Comparación de P.O. obtenidas en CP para menores discretizaciones que la base.

b) En CP se obtuvo una mejora del costo acumulado en simulación al utilizar una discretización menor. Afirmar que la P. O. obtenida en este caso es mejor que con la discretización base puede ser un trabajo a futuro a analizar más profundamente, por ejemplo, analizando otras variables de interés.