

## ***Valorización de la instalación de potencia adicional en centrales Bonete y Salto Grande***

*Leonardo Campon, Pablo Maggi*

*Instituto de Ingeniería Eléctrica – FING.*

*Julio 2012*

*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.

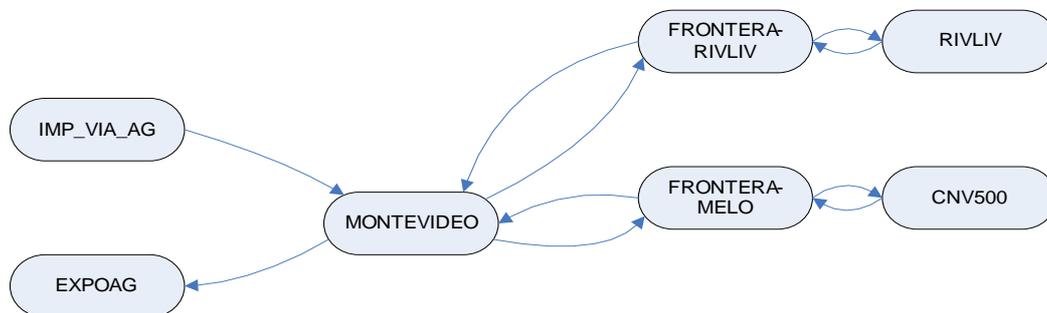
## 1 Objetivo.

El objetivo de este trabajo es valorizar la incorporación de potencia adicional en las centrales hidroeléctricas de Bonete y Salto Grande a fin de evaluar si son rentables o no dichas inversiones.

Se estimarán los beneficios obtenidos por la incorporación de esa potencia adicional en ambas centrales en forma independiente. Se analizará un período de 5 años a partir de la fecha 1/1/2014, se supondrá que el beneficio promedio de esos 5 años es el mismo para hacer un flujo de fondos en un horizonte de 50 años a fin de estimar la inversión inicial que hace rentable el proyecto.

## 2 Hipótesis de trabajo.

Para este estudio se modeló el sistema eléctrico uruguayo completo incluyendo también las interconexiones con Argentina y Brasil, así como también las incorporaciones de potencia planificadas en otros tipos de generación, como el incremento de la generación eólica y la incorporación de una nueva central de ciclo combinado. De igual manera se contempla la posible incorporación como demanda de Aratirí.



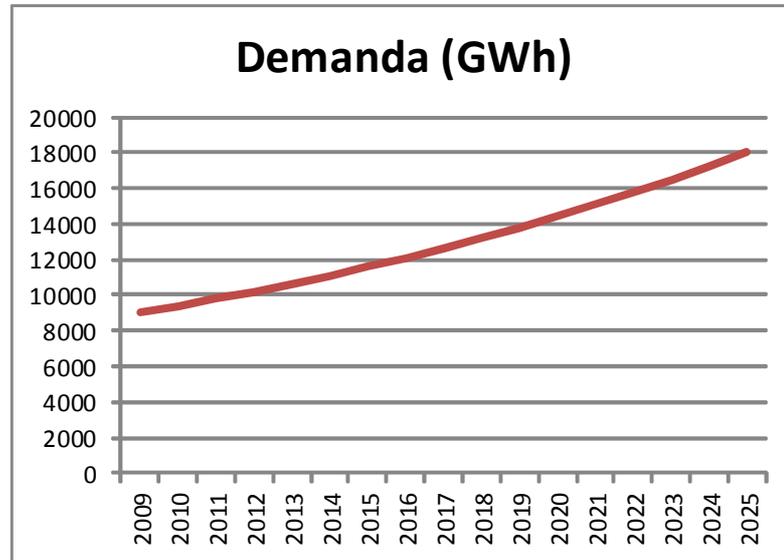
Consideraciones sobre el modelo:

- 1- La demanda asociada a Aratirí se considera constante y de 200 MW, a partir del 1/1/2015.
- 2- La interconexión con Brasil a través de la Conversora de 500 MW se incorpora a partir del 1/11/2013.
- 3- Todos los generadores y la demanda se consideran conectados al nodo Montevideo

### 2.1 Proyección de la Demanda

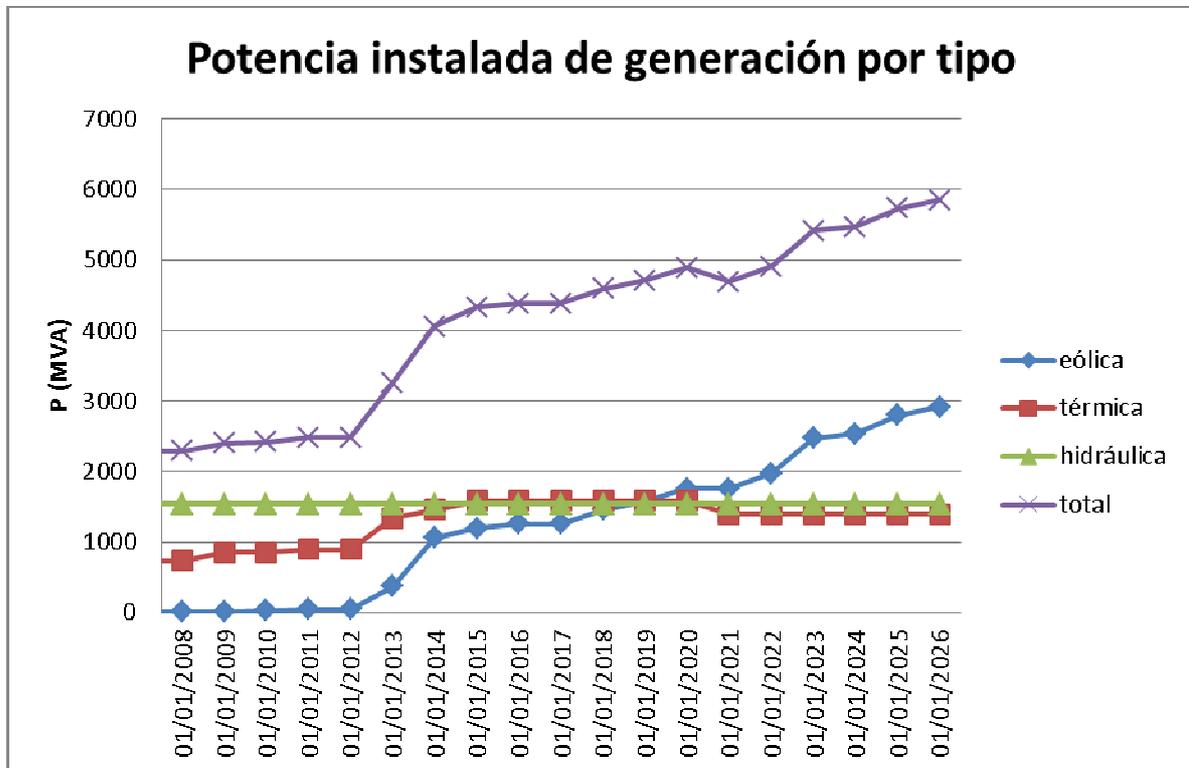
Se considera un solo escenario para la demanda. Dicho escenario contempla dos fuentes de demanda, la primera correspondiente a la demanda del consumo interno de Uruguay que crece

según gráfica adjunta y la segunda a la demanda correspondiente a la entrada en funcionamiento de la minera Aratirí, una carga constante de 200 MW a partir del 1/1/2015.



## 2.2 Expansión de la generación

En cuanto a la generación se consideran dos escenarios, el primero corresponde a un crecimiento de la potencia instalada para generación según la gráfica que se adjunta.



El segundo escenario, es similar al primero, donde se mantiene la evolución de todas las fuentes salvo la eólica que se topea en 800 MW a partir de mayo de 2015.

## 2.3 Comercio Internacional

Se supone libre intercambio de energía con Argentina (con las limitaciones técnicas que imponga la red).

Los precios de Importación desde Argentina se consideran de 200 USD/MWh hasta 1/1/2013 y luego 250 USD/MWh, mientras que la exportación se valorizó en 10 USD/MWh.

Con Brasil se suponen 2 casos, uno con libre intercambio de energía hasta 570 MW y otro con importación cerrada.

## 2.4 Precio de los combustibles.

El precio de los combustibles se afecta por la variable aleatoria WTI\_70. Para el caso de simulación con paso diario, a fin de reducir los tiempos de simulación, se consideró esa fuente aleatoria como una fuente constante de valor 70 USD/barril

## 2.5 Costos de falla.

Los costos de falla se simulan según la siguiente tabla:

Escalón				
Profundidad (p.u.)	0,05	0,075	0,075	0,8
Costo (USD/MWh)	250	400	1200	2400

## 3 Metodología.

La metodología aplicada se basa en una comparación de costos de abastecimiento de la demanda (CAD) entre los distintos escenarios. Se calcula el valor actual de los beneficios obtenidos por la incorporación de la potencia adicional en las centrales según distintos escenarios que se describen a continuación:

### Caso 1

En este caso se realiza una simulación con paso semanal donde solo se modifica la cantidad de maquinas disponibles para las centrales hidroeléctricas de Bonete y Salto Grande a partir del 1/1/2014.

Por simplicidad en el uso de los modelos existentes para ambas centrales se consideró para Bonete la incorporación de dos nuevas unidades de 38,8 MW, totalizando una potencia adicional de 77,6 MV y en Salto Grande una única unidad de 135 MW. La incorporación de estas unidades no se realiza en forma simultánea.

## Caso 2

Este caso es similar al Caso 1 en cuanto a cómo se simula la incorporación de potencia adicional en Bonete y Salto Grande, pero se restringe la incorporación de generadores eólicos a una potencia máxima de 800 MW al 1/5/2015.

## Caso 3

Este caso es similar al Caso 1 en cuanto a cómo se simula la incorporación de potencia adicional en las centrales del estudio, pero en vez de restringir la incorporación de generadores eólicos, se supone que no se importa energía desde Brasil por ninguna de las dos convertoras.

Para los casos 1 y 3 también se calcula la potencia generada por esas unidades adicionales que se incorporan en ambas centrales hidroeléctricas y se valoriza la energía generada al costo marginal del sistema.

# 4 Resultados del estudio

## 4.1 Comparación de CAD

Se suponen 50 años para el flujo de fondos con el beneficio promedio en el estudio realizado a 5 años y que la obra tarda 2 años en concretarse. Para los distintos escenarios se calcula el VAN según la fórmula siguiente:

$$\text{VAN} = q^2 \times \sum_{k=1}^{k=50} (\text{Beneficio}_k \times q^k)$$

$$q = 1/1.12 \text{ (tasa de 12\%)}$$

$$\text{Beneficio}_k = \text{Beneficio promedio}$$

Las tablas que se muestran a continuación corresponden a los resultados de las simulaciones realizadas y las mismas muestran los valores promedios de los costos de abastecimiento de la demanda expresados en millones de USD, comparando siempre las situaciones con las mismas restricciones (importaciones desde Brasil e incorporación de generación eólica) para los casos con y sin la incorporación de potencia adicional en la central en estudio.

Por lo tanto para el escenario con 2 turbinas adicionales en Bonete, con importación abierta desde Brasil y sin restricciones en incorporación de generadores eólicos se obtiene:

	Sit. Original	2 turb. más en Bonete	Beneficio
2014	611	607	5
2015	652	623	29
2016	717	648	68
2017	740	729	10
2018	766	753	13
	Beneficio promedio		25

Aplicando la fórmula del VAN antes descrita se obtiene un valor actual de los beneficios de **165 MUSD**.

Para el escenario con 2 turbinas adicionales en Bonete, con importación abierta desde Brasil pero con el límite de 800 MW en generación eólica a partir de 2015 se obtiene:

	Sit.Original (eólica topeada)	2 turb. más en Bonete (eólica topeada)	Beneficio
2014	604	628	-24
2015	643	667	-24
2016	677	695	-19
2017	761	742	19
2018	808	808	0
	beneficio promedio		-10

Nuevamente aplicándola fórmula del VAN descrita se obtiene un valor actual de los beneficios de **-64 MUSD**, es decir que no es rentable.

Para el escenario con 1 turbina adicional en Salto Grande, con importación abierta desde Brasil y sin restricciones en la incorporación de generadores eólicos se obtiene:

	Sit. Original	1 turb. más en Salto Grande	Beneficio
2014	611,3	618,0	-7
2015	651,8	633,8	18
2016	716,7	691,5	25
2017	740,0	726,2	14
2018	765,8	764,9	1
	beneficio promedio		10

Aplicando la fórmula del VAN se obtiene un valor actual de los beneficios de **68 MUSD**.

Para el escenario con 1 turbina adicional en Salto grande y las mismas restricciones del caso anterior, pero usando paso diario en la simulación, se obtiene:

	Sit. Original	1 turb. más en Salto Grande	Beneficio
2014	650	649	1
2015	705	670	34
2016	719	715	4
2017	741	718	23
2018	819	813	6
Beneficio promedio			14

Aplicando la fórmula del VAN se obtiene un valor actual de los beneficios de **92 MUSD**.

Para el escenario con 2 turbinas adicionales en Bonete, sin restricciones en la incorporación de generadores eólicos pero sin importación de energía desde Brasil se obtiene:

	Sit. Original	2 turb más en Bonete	Beneficio
2014	686	670	16
2015	723	674	49
2016	809	712	97
2017	835	804	31
2018	853	843	10
Beneficio promedio			41

Al calcular el valor actual de los beneficios el mismo corresponde a **269 MUSD**.

Para el escenario análogo al caso anterior pero incorporando una turbina en Salto Grande se obtiene:

	Sit. Original	1 turb más en Salto Grande	Beneficio
2014	686	674	12
2015	723	695	28
2016	809	761	49
2017	835	817	19

2018	853	861	-8
	Beneficio promedio		20

En este caso al calcular el VAN se obtiene un valor actual de los beneficios de **131 MUSD**.

Aparte de las simulaciones realizadas para los escenarios antes descritos, también se realizaron simulaciones similares promediando y sin promediar la fuente aleatoria de vientos y no se observan cambios significativos en los resultados obtenidos para las simulaciones de paso semanal.

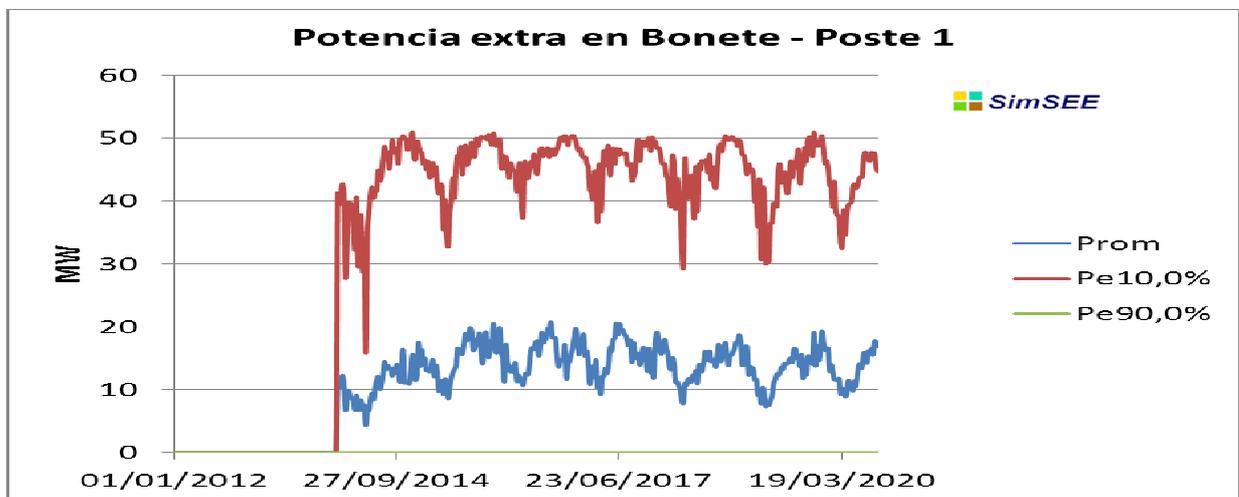
## 4.2 Potencia generada por unidades adicionales

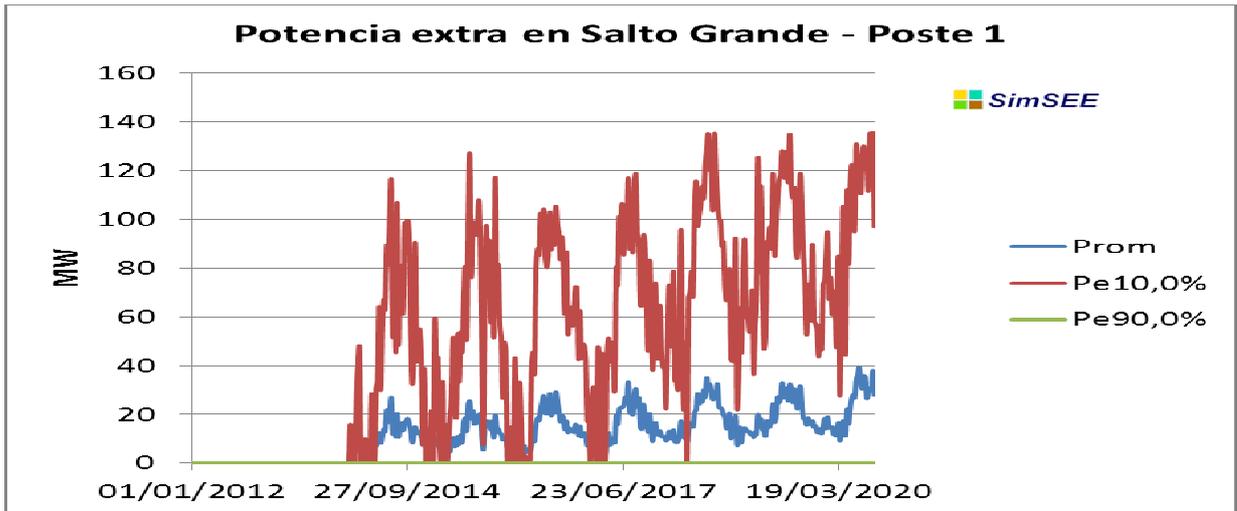
Para el cálculo de la potencia generada por las unidades adicionales se trabajó por poste, acumulando la potencia generada por la central en estudio en cada poste y se observa cuanta potencia se genera por encima de la potencia máxima original de dicha central.

Para cada central se consideran los caso 1 y 3, es decir con importación de energía desde Brasil abierta y cerrada.

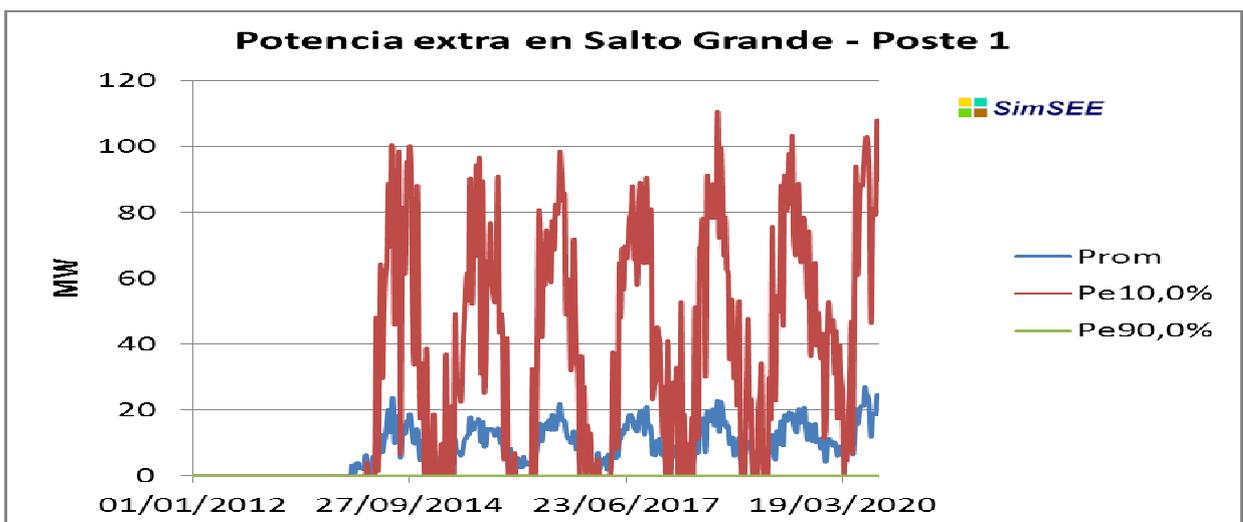
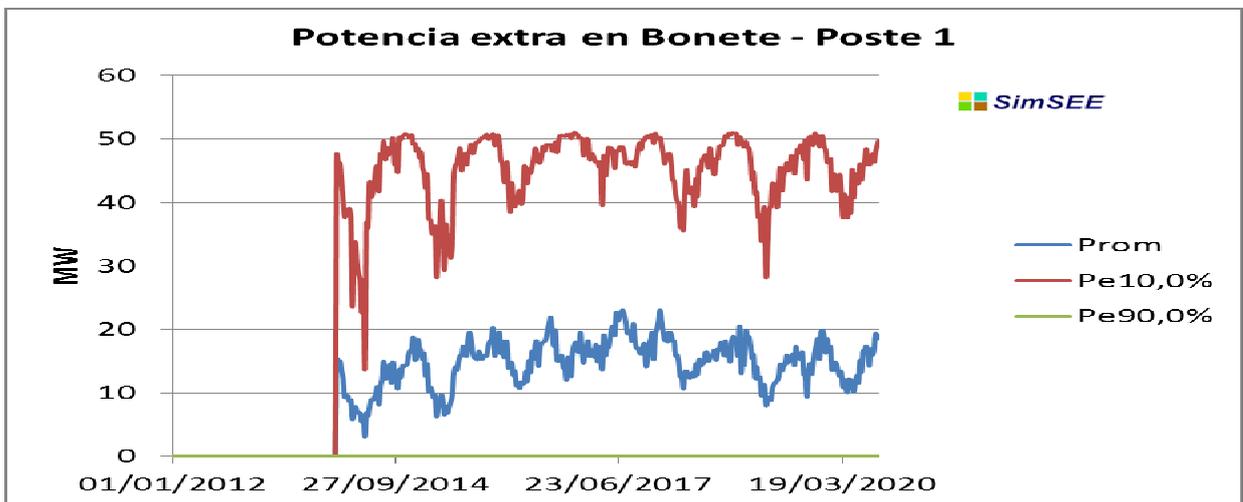
Las gráficas que se muestran a continuación corresponden al poste 1, es decir el de mayor demanda.

Caso 1, se permite la importación de energía desde Brasil





Caso 3, no se permite la importación de energía desde Brasil



Valorando la energía de los casos anteriores y considerando solamente el período de 5 años de estudio se obtiene la siguiente tabla:

	MUSD
Bonete con importación abierta	3,7
Bonete con importación cerrada	5,8
Salto Grande con importación abierta	2,6
Salto Grande con importación cerrada	3,1

## 5 Conclusiones

La siguiente tabla resume los valores de los beneficios calculados para cada uno de los escenarios del punto anterior:

	Paso semanal	Paso diario
Agregar 2 turbinas en Bonete (Imp. Brasil abierta)	165	
Agregar 2 turbinas en Bonete (Imp. Brasil cerrada)	269	
Agregar 1 turbina en Salto Grande (Imp. Brasil abierta)	68	92
Agregar 1 turbina en Salto Grande (Imp. Brasil cerrada)	131	
Agregar 2 turbinas en Bonete (Imp. Brasil abierta y eólica topeada)	-64	

- Se logra un mayor ahorro en el abastecimiento de la demanda incorporando potencia adicional en Bonete que en Salto Grande, pero en ambos casos se logra un ahorro.
- En un escenario de importación cerrada el ahorro es mayor aún.
- La rentabilidad del proyecto dependerá de la inversión necesaria en cada caso.
- Es clara que la conveniencia de incorporar potencia adicional hidráulica está asociada a la disponibilidad de energía eólica. El beneficio de la potencia adicional hidráulica radica en la posibilidad de rápidamente absorber la variabilidad de la energía eólica.
- En valores esperados alcanzaría con una sola turbina en Bonete.

## 6 Posibles futuros trabajos.

Todos los estudios realizados anteriormente se hicieron en base a los valores esperados del costo de abastecimiento de la demanda. Un estudio adicional a realizar sería contemplar los diversos factores de riesgo y evaluar en esas condiciones los beneficios que se obtendrían.

Solamente se realizó la simulación de paso diario incorporando potencia adicional en Salto Grande. Dado que esa simulación entregó mejores beneficios para la misma situación con paso semanal, sería interesante analizar qué ocurre si la incorporación de la potencia adicional fuera en Bonete o en Palmar simulando con corridas de paso diario y horario.

Otro posible futuro trabajo sería tratar de encontrar la potencia óptima a incorporar en cada central para maximizar los beneficios.