

Optimización en Sub-Sistemas

Vanina Camacho - Guillermo Flieller - Ignacio Reyes

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 de este trabajo es implementar en SimSEE la posibilidad de Optimizar/Simular los sistemas de dos países con Salas SimSEE independientes acopladas por medio de actores de demanda o intercambio internacional.

La fuente de costos marginales de la Sala del país A se usará en la Sala del país B para modelar el precio del sistema A y de forma recíproca para los costos marginales de la Sala del país B.

Se pretende evaluar la convergencia del algoritmo y comparar los resultados con la simulación de ambos sistemas por separado.

2 Hipótesis de trabajo.

Se hará uso de la herramienta *SimSEE versión 182* para el armado de las salas, *cmdopt* y *cmdsimsim*, versiones de línea de comandos del anterior para simulación y optimización de las Salas por separado.

El programa *SimRes3*, también en versión línea de comandos, para visualizar los resultados de las simulaciones. El programa *Análisis Serial CEGH* para construir los modelos CEGH¹ y el programa *Clymu*, implementado por el grupo.

Se hará uso de funciones agregadas como la función Concatenar, agregada a la herramienta SimRes3 y la extensión *Análisis Serial de Modo Consola*.

¹ Correlaciones en Espacio Gaussiano con Histogramas. *Fundamentos de modelo CEGH de procesos estocásticos multivariados*. Ruben Chaer IIE-FING-UDELAR. Junio 2013.

Se utilizó como punto de partida la sala de *Programación Estacional de Abril (PES a partir de ahora)* 2018 del sistema eléctrico Uruguay para el armado de las salas. La sala se modificará para obtener dos países de similares características tanto en demanda como en generación con los cuales trabajar.

La duración de la simulación fue de 1 año con unidad de paso de tiempo semanal y 4 postes. El horizonte de optimización va del 01/01/2018 al 31/12/2019 y el de simulación del 01/01/2018 al 31/12/2018.

Se utilizaron 5 crónicas en la optimización y 40 crónicas en la simulación. En todos los casos se utilizó la misma semilla.

3 Metodología.

Se modificó el modelado del sistema eléctrico de Uruguay de la sala PES con el fin de simplificarlo y reducir tiempos de optimización y simulación. Para esto se unificaron todos los parques eólicos en uno de potencia equivalente a la suma, procediendo de igual forma para los parques solares y los generadores térmicos de menor potencia y similar costo de operación. Como simplificación adicional se eliminaron los mantenimientos programados para todas las centrales generadoras, para asegurar la disponibilidad de potencia fija y garantizar la viabilidad del despacho incluyendo el intercambio máximo.

En términos de interconexiones internacionales, se eliminaron el nodo Vecodesa, los actores de intercambio internacional con Argentina y Brasil.

La sala PES se modificó de manera de que la sala B fuera una variación de la sala A diferenciándose por los aportes hidrológicos en los embalses y su demanda fue aumentada en un 10% con respecto a la de la sala A. Los aportes del embalse de Rincón del Bonete (de aquí en adelante Bonete) y los de embalse de Salto Grande (SG) se permutaron entre las salas. Esto se realizó en las matrices del modelo CEGH permutando las entradas de las columnas de la matriz de correlaciones correspondiente a Bonete por los de SG, procediendo de igual forma para las filas.

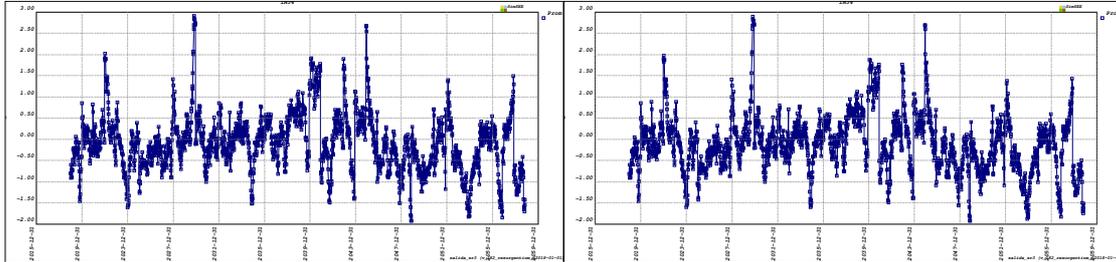
Esto es, en las matrices de correlaciones de la Sala A:

$$X_{k+1} = \begin{matrix} & \begin{matrix} Bonete & Palmar & SG & iN34 & CMG & PInt \end{matrix} \\ \begin{matrix} Bonete \\ Palmar \\ SG \\ iN34 \\ CMG \\ PInt \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{bmatrix} \end{matrix} X_k + \begin{matrix} & \begin{matrix} Bonete & Palmar & SG & iN34 & CMG & PInt \end{matrix} \\ \begin{matrix} Bonete \\ Palmar \\ SG \\ iN34 \\ CMG \\ PInt \end{matrix} & \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & u_{13} & u_{14} & u_{15} & u_{16} \\ u_{21} & u_{22} & u_{23} & u_{24} & u_{25} & u_{26} \\ u_{31} & u_{32} & u_{33} & u_{34} & u_{35} & u_{36} \\ u_{41} & u_{42} & u_{43} & u_{44} & u_{45} & u_{46} \\ u_{51} & u_{52} & u_{53} & u_{54} & u_{55} & u_{56} \\ u_{61} & u_{62} & u_{63} & u_{64} & u_{65} & u_{66} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

y en la Sala B:

$$X_{k+1} = \begin{matrix} & \begin{matrix} Bonete & Palmar & SG & iN34 & CMG & PInt \end{matrix} \\ \begin{matrix} Bonete \\ Palmar \\ SG \\ iN34 \\ CMG \\ PInt \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_{33} & a_{32} & a_{31} & a_{34} & a_{35} & a_{36} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{13} & a_{12} & a_{11} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{bmatrix} \end{matrix} X_k + \begin{matrix} & \begin{matrix} Bonete & Palmar & SG & iN34 & CMG & PInt \end{matrix} \\ \begin{matrix} Bonete \\ Palmar \\ SG \\ iN34 \\ CMG \\ PInt \end{matrix} & \begin{bmatrix} u_{33} & u_{32} & u_{31} & u_{34} & u_{35} & u_{36} \\ u_{21} & u_{22} & u_{23} & u_{24} & u_{25} & u_{26} \\ u_{13} & u_{12} & u_{11} & u_{14} & u_{15} & u_{16} \\ u_{41} & u_{42} & u_{43} & u_{44} & u_{45} & u_{46} \\ u_{51} & u_{52} & u_{53} & u_{54} & u_{55} & u_{56} \\ u_{61} & u_{62} & u_{63} & u_{64} & u_{65} & u_{66} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

El cruce de los aportes no repercute en como influye sobre El Niño, esto se ve al observar la salida del Niño del SimRes3 de cada sala (ver siguiente figura).



Además, como simplificación para darle fluidez a las corridas, se utilizaron solo dos variables de estados, una que representa la influencia del Niño³⁴ y otra que representa la influencia de los aportes hídricos siguiendo la siguiente relación:

$$H_{hidro} = 0,0768 H_{Bonete} + 0,03 H_{Palmar} + 0,5 H_{SG}$$

Para modelar el intercambio de potencia se evaluaron las dos alternativas presentadas a continuación.

En el primer caso, se utiliza un tipo de actor capaz de decidir independientemente en base a una fuente de costos internacionales la potencia a intercambiar, este actor busca brindarle un beneficio económico a la sala.

En el segundo caso, el intercambio se representa como una demanda, la cual puede tomar valores positivos, en caso de ser exportación, o negativos para importación. De tal manera, el intercambio no tiene asignado un pago a través de *CMO*, por el contrario todo el bloque actúa de forma integrada, satisfaciendo en común la demanda, desde el mercado más conveniente económicamente para cada paso de tiempo.

3.1 Intercambio a través Actor Internacional

Como primer acercamiento, se utilizó un actor de Spot de mercado postizado como actor de interconexión entre las salas A y B, usando como fuente de precio en cada poste el costo marginal cruzado. Este tipo de actor toma una fuente de costos marginales del mercado con el que se pretende intercambiar y decide las potencias a intercambiar comparando este con su costo marginal de generación. Este actor toma fuentes para los diferentes postes y determina los intercambios de potencia por poste. En principio se permitió el intercambio unicamente a través del poste 3.

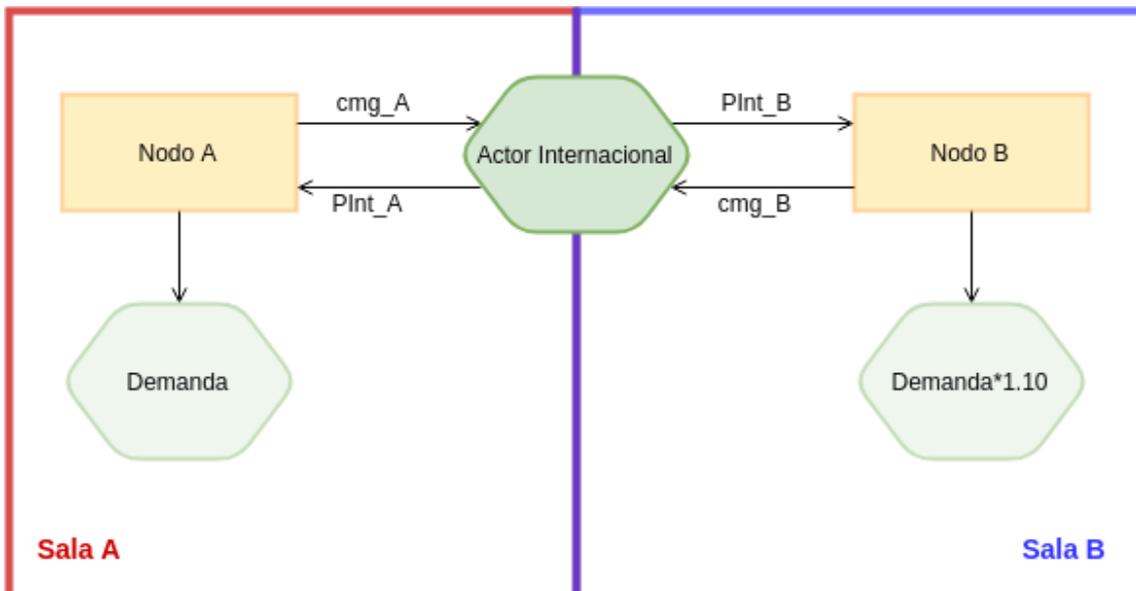
Uno de los inconvenientes que se presenta al aplicar este mecanismo es la desincronización entre los postes de ambas salas. Los postes de cada sala dependen de los horarios en los que se da los distintos niveles de su propia demanda y no necesariamente coinciden con los de la otra sala. En el caso en que los horarios de los postes de la sala A y de la sala B no coincidan se estarían comparando costos marginales de horarios distintos.

Los resultados obtenidos mediante este método no fueron los esperados; no se obtuvo convergencia. La potencia exportada por la sala A no es coincidente con la importada por la sala B. Más aún, en algunos casos las potencias intercambiadas podían ser de exportación o importación en ambas salas al mismo tiempo. Esto último se debe a que al momento de decidir la potencia a intercambiar, la sala A no tiene el dato del último despacho decidido por la sala B, guiándose por datos correspondientes al despacho anterior.

Adicionalmente a lo planteado de la desincronización entre postes se presenta la falta de información respecto a la decisión de importación o exportación de energía en la otra sala, la sala B debe tomar su decisión sin saber la cantidad o incluso el sentido (importar o exportar) que decidió la sala A. En el paso inicial las salas simulan con el mismo costo marginal de intercambio, correspondiente al costo histórico de la región sur de Brasil, lo cual genera que el punto de partida para las potencia de intercambio sea similar, incluso en el sentido.

Es importante destacar que este tipo modelado es el tradicional para toma de decisiones de intercambio entre mercados, sin realizar múltiples iteraciones.

En el diagrama siguiente se muestra el intercambio de Información entre las salas a través de un Actor Internacional de Intercambio. Este actor toma los costos del país contrario y decide cuanta potencia intercambia dependiendo del costo marginal propio.



3.2 Intercambio a través de Actor Demanda sin maquinas de falla

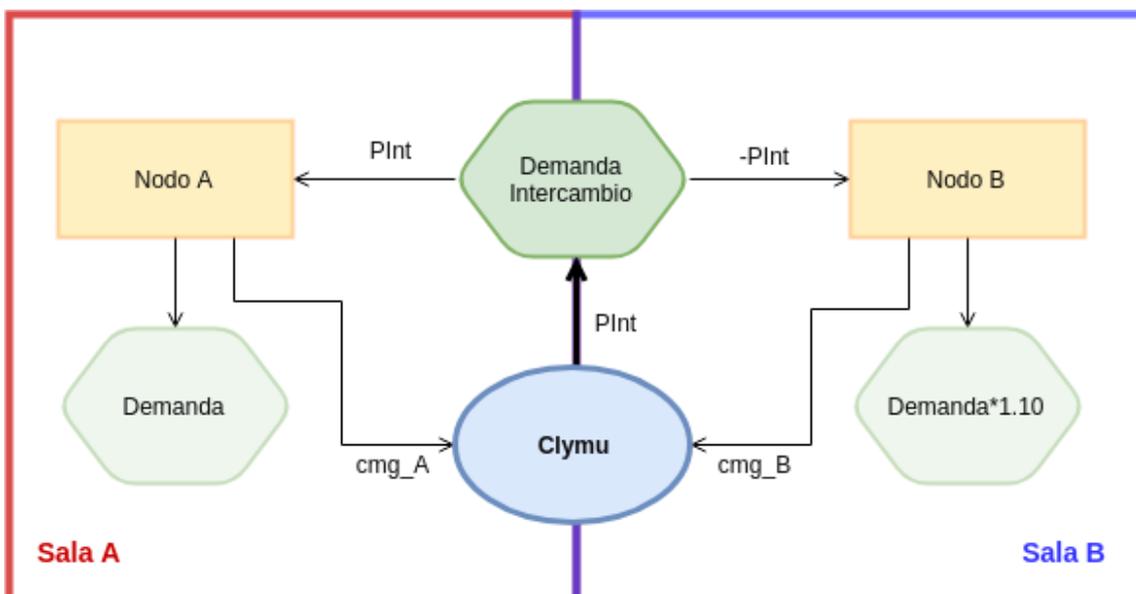
En vistas de los resultados obtenidos con la metodología inicial, se decidió modificar la metodología tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

1. La potencia de intercambio debe ser igual en módulo y de signo opuesto en cada sala. En un caso general, donde hubieran n mercados intercambiando, la suma de la potencia intercambiada por cada sala debe ser cero para cada paso de

tiempo.

2. La potencia debe fijarse para cada horario o en forma de valor medio semanal pero sin tener en consideración los postes horarios de carga de demanda, ya que los postes de cada sala dependen de sus características de consumo.
3. La potencia debe fluir en cada paso de tiempo de la sala de menor costo marginal hacia la de mayor costo sin aranceles o peajes. Bajo una hipótesis de integración de bien común donde se busca el beneficio de todo el conjunto y no el beneficio individual de un país, donde no se imponen cargos de ganancia o restricciones basadas en decisiones políticas.
4. La convergencia se evaluará en términos de la aproximación entre los costos marginales de generación entre las salas. En el caso límite en que los mercados estuvieran conectados a través de interconexiones sin límite de potencia y con capacidad de generación suficiente para cubrir el total de la demanda en el bloque, los costos deberían igualarse.
5. La demanda que modele el intercambio no debe tener máquinas de falla. Las máquinas de falla establecen un modelado de la falta de energía, cubriendo el saldo insuficiente de la demanda a alto costo. Esto implica que de tener máquinas de falla las demandas negativas (importación) deberían ser cubiertas por las máquinas de falla en el sentido opuesto.

En el diagrama siguiente se muestra el intercambio de Información entre las salas a través de una Demanda de Intercambio. Esta demanda fuerza a que las salas tomen o satisfagan la potencia de intercambio decidida por el bucle Clymu a partir de los costos marginales de ambas salas dependiendo de la iteración y el paso máximo que se permite en dicha iteración de intercambio.



3.2.1 Modelado

Para cumplir con todos los puntos anteriores se decidió modelar el intercambio en base a un actor de tipo demanda el cual esta presente en ambas salas. Este actor permite fijar la potencia en base a una fuente CEGH, la cual puede ser modificada en cada iteración con un procedimiento de decisión que crea una serie histórica con decisiones de potencia de intercambio. Esto se realiza poniendo como fuente el borne de potencia de intercambio de la fuente CEGH y un filtro señalizador de horas.

A la serie de datos de una sala dada de aportes hidrológicos y fenómeno de El Niño se le agrega una columna correspondiente a los costos marginales de generación de la otra sala y una columna con la potencia de intercambio decidida. A partir de esta serie histórica y aplicándole análisis serial se crea una fuente CEGH la cual correlaciona los aportes hidrológicos con el estado climático de El Niño (años secos, normales y húmedos) con las posibilidades de intercambio de potencia, a la vez que fija una guía para la demanda que modela el intercambio de la potencia decidida.

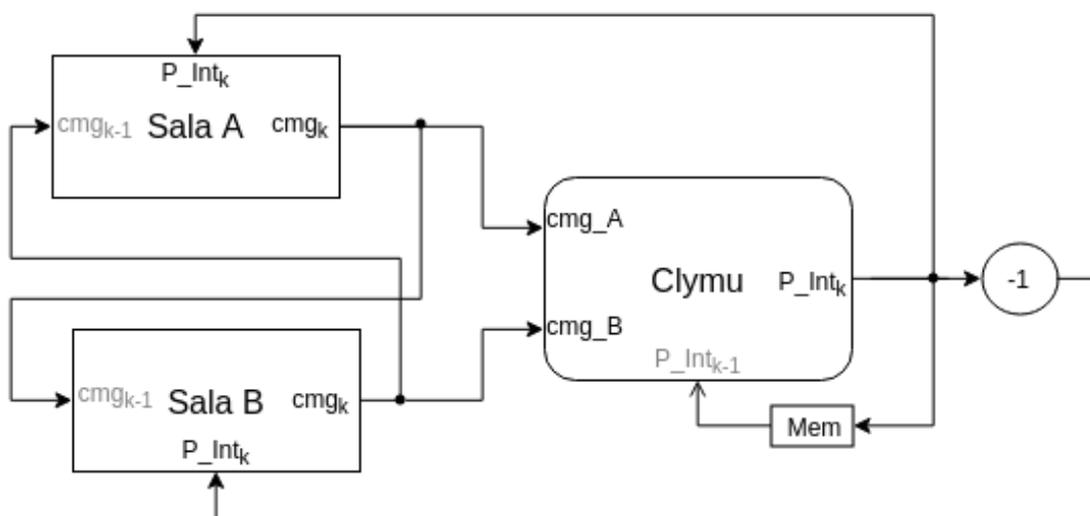
El actor de demanda intercambio se implementa como un actor demanda sin máquinas de falla. Las máquinas de falla son una componente de los actores demanda que, en caso que los actores generadores no sean capaces cubrir demanda, es capaz de cubrir la demanda a altos costos, que simulan los costos de no ser capaz de abastecerla. Al quitar las máquinas de falla se permite la posibilidad de que la demanda maneje potencias negativas.

Se anularon intercambios a través de actores intercambio internacional. Como ya fue mencionado, los actores de intercambio internacional no permiten coordinación de la potencia entre las salas.

3.2.2 Implementación del bucle de decisión

El ajuste de la potencia de intercambio se realiza a lo largo de una serie de iteraciones.

Un diagrama de bloques del sistema de decisión se presenta en la siguiente figura:



En la primera iteración ambas salas son optimizadas y simuladas de forma aislada sin posibilidad de recibir o entregar energía desde o hacia el otro mercado.

De esta forma se tiene como punto de partida cual sería el despacho de cada sala si debe satisfacer su propia demanda sin ningún tipo de interconexión con otro país de donde se obtienen los costos marginales para decidir los intercambios.

Los valores obtenidos de CMG de las salas se comparan fijando la potencia de intercambio para la siguiente iteración de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$PInt_{k+1}(t) = PInt_k(t) - \Delta P \frac{(cmg_A(t) - cmg_B(t))}{\|cmg_A(t) - cmg_B(t)\|}$$

Con $\Delta P = \frac{64}{2^{\text{trunc}(k+1/10)}}$ ², $PInt_k(t)$ la potencia intercambiada en la iteración anterior, k+1 la iteración actual y t el paso de tiempo.

Si $\|cmg_A(t) - cmg_B(t)\| < 1 USD$ no se cambia la potencia de intercambio y $PInt_{k+1}(t) = PInt_k(t)$.

Además, la potencia de intercambio está limitada por $PInt_k(t) < PInt_{max}$ con el objetivo de siempre ser capaz de realizar despacho factible.

Si en la primera iteración la sala A tiene mayor costo que la sala B la potencia de intercambio debería fluir desde la sala B hacia la A, como ΔP es positiva. Si luego de la primera iteración la relación entre los costos se revirtiera y la sala A pasase a ser la de menor costo, entonces el signo de la diferencia pasará a ser -1 implicando que la potencia de intercambio disminuye. Este método asegura la convergencia forzada a lo largo de los pasos de simulación, dado que las variaciones en potencia son forzosamente menores o iguales de una iteración a la siguiente.

3.2.3 Implementación del programa Clymu

El bucle de ajuste presentado en el punto anterior esta implementado dentro del programa Clymu que cumple las siguientes funciones:

1. Abrir, cerrar y empaquetar dos salas de juego diferentes.
2. Modificar los atributos de las salas según los parámetros que se fijen: duración de simulación, duración de optimización, número de crónicas de simulación, número de crónicas de optimización, simulación con datos históricos, número de iteraciones de ajuste de potencia, potencia máxima de intercambio.
3. Optimizar y/o simular dos salas de juego, según corresponda en la iteración.
4. Ejecutar el programa SimRes3 y manipular adecuadamente los datos de simulación en hojas de cálculo .xls y .xlt para el análisis de resultados.
5. Evaluar la diferencia de los resultados entre las salas en términos de convergencia.

² Para el caso de realizar enganches, es decir, continuar realizando iteraciones sobre el sistema una vez terminado de correr el programa, se habilita la opción "Resucitar". En tal caso el ΔP se reinicia.

6. Calcular los ajustes de potencia de acuerdo a los valores de costo marginal de las salas, hasta alcanzar convergencia.
7. Modificar las series de datos históricos para incluir lo realizado en el punto anterior.
8. Realizar análisis serial a las series de datos de ambas salas en cada iteración.
9. Realizar modificaciones a las matrices de variables de estado para acelerar los procesos de optimización y simulación.

Como primera instancia se leen los parámetros de ejecución del programa y se crea el Problema SimSEE, donde se fijan las rutas de las salas y los resultados, la fecha de inicio y fin, las duraciones de los pasos y demás opciones.

Luego se entra al bucle principal de ejecución llamado BucleClymu.

Dentro del bucle se procede de la siguiente forma:

1. Se comienza por desempaquetar las salas y respaldar las salas originales, las cuales a lo largo del programa irán cambiando con las iteraciones.
2. Realizar el análisis CEGH de las series de aportes hidrológicos, costos marginales de generación y potencia de intercambio.
3. Se optimiza y simula cada una de las salas por separado sin permitir intercambio de energía entre salas.
4. Se obtienen los resultados de las simulaciones con la herramienta SimRes3.
5. Se realiza estimación de la potencia de intercambio de acuerdo al método ya presentado y se carga esta potencia en la serie de datos históricos de la sala A y su opuesto para la sala B.
6. Se realiza análisis serial de los datos históricos de ambas salas.
7. Se optimizan y/o simulan ambas salas dependiendo del caso de estudio y del número de paso.
8. Se vuelve al punto 4.

4 Resultados del estudio.

Se presentarán los resultados correspondientes a 3 implementaciones diferentes del programa donde se varia la cantidad de iteraciones de simulación y optimización aplicadas.

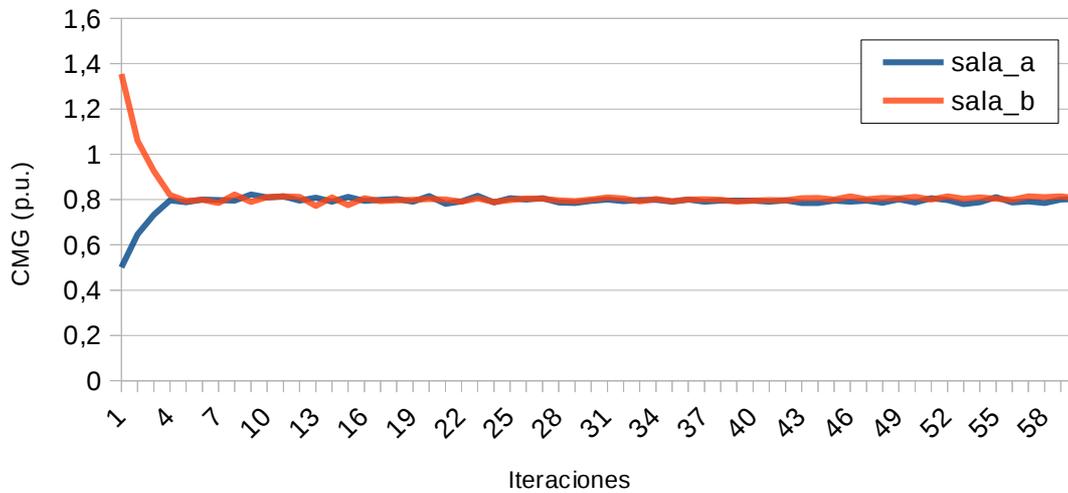
4.1 Optimización con simulación en todas las iteraciones

En primera instancia se presentan los resultados aplicando en todas las iteraciones optimización y simulación.

En este caso se redefine la política de operación en cada iteración, esto lleva a que el punto óptimo de intercambio varié en cada paso de tiempo.

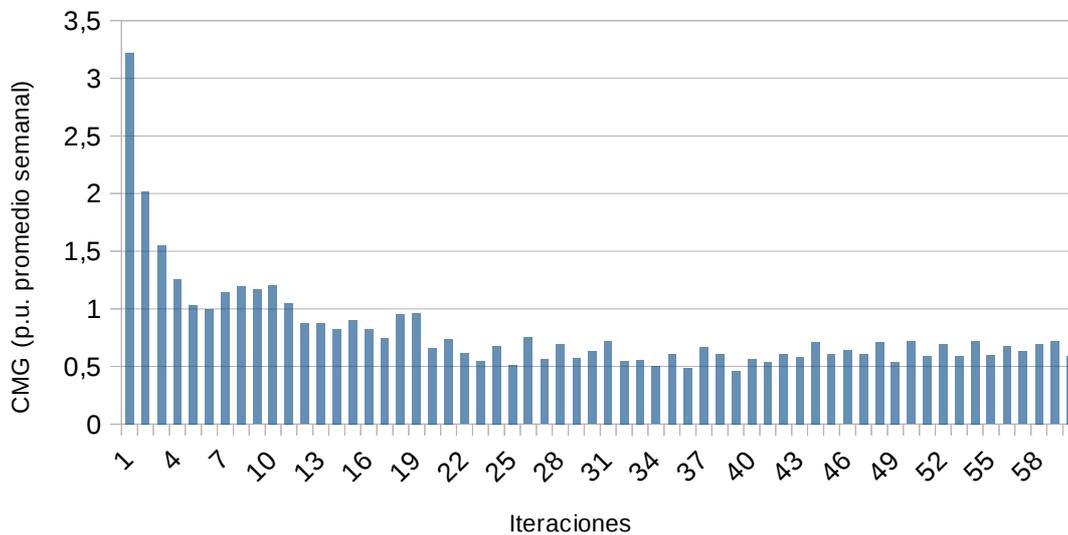
En la siguiente figura se muestra el cmg semanal promedio de cada una de las salas de los 40 años (en azul la sala A y en rojo la sala B).

CMG promedio por semana



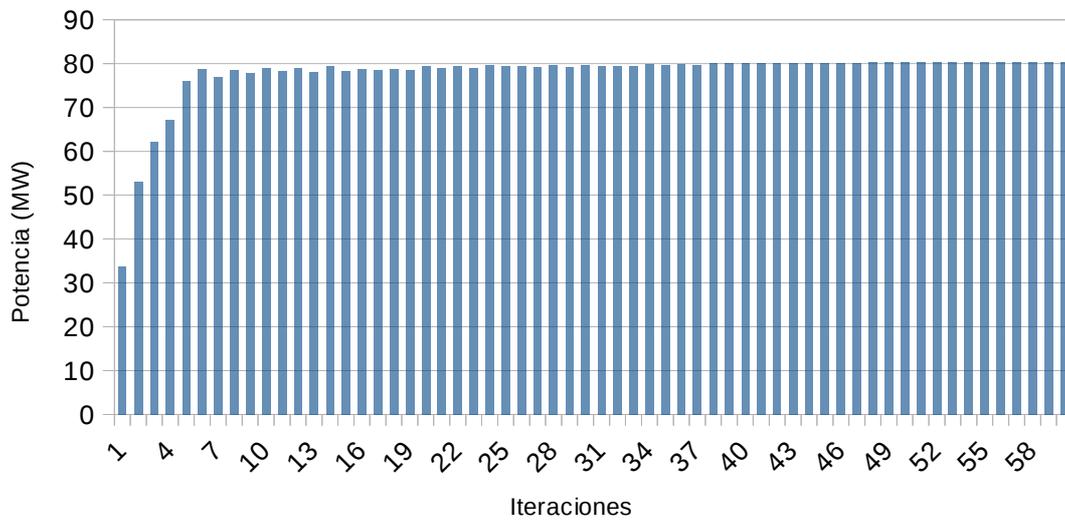
En la figura anterior se observa que en el promedio de ambas salas tienden al mismo valor, pero si en lugar de el promedio se toma el valor eficaz de la diferencia en cada paso de tiempo entre las salas obtenemos el resultado que se aprecia en la siguiente figura, donde se ve que están convergiendo a un valor fijo no nulo. Esto se debe entre otros factores al hecho de no permitir el intercambio si la diferencia entre los cmg de la salas es menor que 1USD.

Diferencia entre CMG de ambas salas



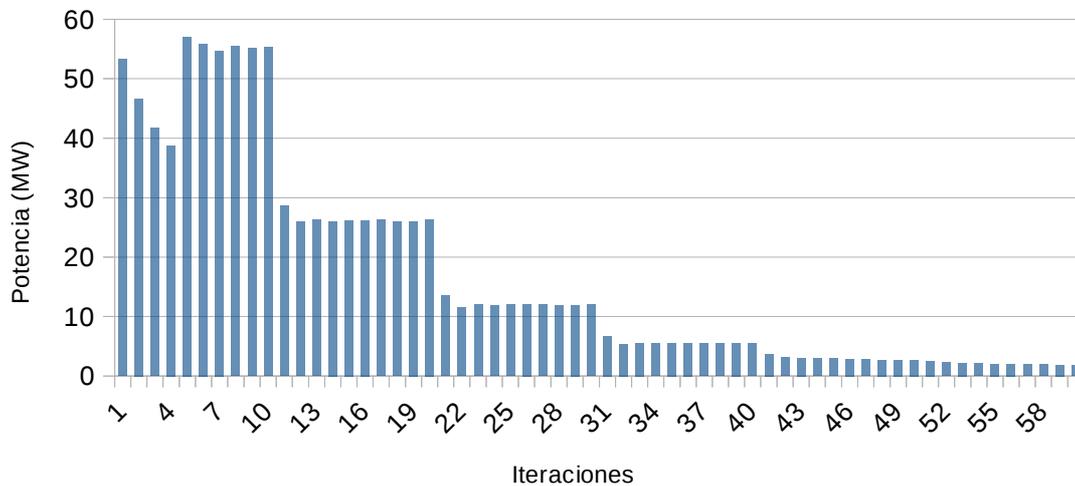
La potencia de intercambio resultante de las iteraciones para la sala A en promedio semanal se muestra en la siguiente figura, la de la sala B es igual solo que con el signo opuesto.

Potencia Acumulada Sala A



La evolución de la potencia que se intercambia entre las salas se muestra en la siguiente figura, donde se aprecia que los intercambios tienden a cero.

Diferencia de potencia entre iteraciones



4.2 Un única optimización con múltiples simulaciones

Los resultados obtenidos tras 60 iteraciones, donde la primera es de optimización y simulación siendo seguida por iteraciones únicamente de simulación. Son muy similares a los obtenidos optimizando y simulando en todas las iteraciones, por lo que no se presentan las imágenes de los resultados, pero equivalen a los anteriores.

En este caso la optimización de partida considera intercambios nulos entre la sala A y la

B. Luego la potencia de intercambio es ajustada de acuerdo al costo marginal de generación como se planteó en la sección 3.

Se impone la restricción para realizar intercambios únicamente si la diferencia entre los cmg es mayor a 1 USD a partir de la 4ta iteración y 10 USD en las 3 primeras.

4.3 Ciclos de optimización con múltiples simulaciones repetidos

Para el caso de optimizar cada 10 o 60 iteraciones se observaron nuevamente resultados similares a los obtenidos optimizando y simulando en todas las iteraciones. Por lo que tampoco se presentan las imágenes.

Con los resultados obtenidos se llega a la conclusión de que darle más información al sistema al optimizar varias veces no le aporta para encontrar la solución óptima.

En cada optimización se ajusta la política de operación, es decir la forma en que se realizará el despacho para alcanzar los menores costos de operación.

Por otra parte, cada simulación realiza sorteos con distinta suerte sobre la misma política de operación.

Las iteraciones de simulación ajustan la precisión del intercambio óptimo de potencia para la política de operación, mientras que las instancias de optimización cambian la política de operación ajustando la potencia de intercambio fijada en la última iteración se reajuste.

4.4 Comparación del comportamiento de los métodos frente a Costo de Abastecimiento de Demanda

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos tras series de 60 iteraciones del programa aplicando los distintos métodos planteados con diferentes valores de cota de exportación ($PInt_{max}$). El costo de abastecimiento de la demanda (CAD) presente en la segunda columna de la tabla corresponde al costo total de abastecer la demanda del conjunto de los dos mercados sumados.

El CAD inicial de ambas salas sumadas es de 912,8 MUSD e incluye el costo de generar cada MWh al costo correspondiente en la sala y paso correspondiente.

Método	CAD Promedio Anual (MUSD)	Beneficio Económico Promedio Anual (MUSD)	Beneficio Económico Acumulado de 40 Años (MUSD)
O6-S60 (512MW)	870,0	42,81	1712
O1-S60 (512MW)	867,0	42,78	1711
O60-S60 (512MW)	870,0	42,75	1710
O6-S60 (128MW)	870,7	42,03	1681
O6-S60 (64MW)	876,8	35,96	1438
O1-S60 (64MW)	876,9	35,88	1435

En la primera columna se detalla el método aplicado junto con la potencia de cota de intercambio. Las siglas hacen referencia a la cantidad de iteraciones de optimización y de simulación aplicadas. O1-S60 refiere al método donde se realiza 1 única optimización y 60 simulaciones (se optimiza al inicio), O6-S60 refiere a 6 optimizaciones y 60 simulaciones (se optimiza en las iteraciones que son múltiplo de 10) y O60-S60 significa 60 optimizaciones y 60 simulaciones (se optimiza en todos los pasos).

La segunda columna presenta el promedio del beneficio económico percibido anualmente frente al CAD en que se hubiera incurrido de no haber realizado intercambio. Por su parte en la tercera columna se presenta el beneficio económico que representa para el conjunto el intercambio de energía.

Se debe resaltar que los beneficios económicos son sin incluir pago de aranceles o intereses al país generador, sino solamente el beneficio común.

De estos resultados se destaca que todos los métodos devuelven resultados similares en términos de beneficio económico frente a la misma cota de intercambio, variando considerablemente con los cambios de cota. Lo que se condice con los resultados mostrados anteriormente, donde las gráficas eran muy similares.

5 Posibles futuros trabajos.

Como posibles trabajos a futuro se plantea el estudio de implementaciones alternativas del bucle principal, variando el número optimizaciones y simulaciones además del ajuste o modificación del algoritmo de ajuste de potencia de intercambio.

Otra posible línea es la prueba de otras estrategias para decidir la potencia a intercambiar. En este estudio se comenzó utilizando un actor de intercambio internacional pero finalmente se optó por un actor de demanda detallada. Se podría implementar un actor internacional específico en el que se permita establecer precio y cantidad de potencia.

Sería posible también probar el mismo método utilizado con dos países sustancialmente distintos.

Se podría realizar también un estudio similar utilizando salas de paso horario, aquí se podrían determinar específicamente las potencias intercambiadas para cada hora.

Extender el alcance del estudio a sistemas de interconectados de intercambio de 3 o más mercados. Un sistema dinámico constituido de 3 o más mercados requiere de un método diferente.