

Valorización de un banco de baterías

Autores: Juan Carlos Mendoza, Juan Lima, Karen Etchepare

Instituto de Ingeniería Eléctrica - FING.

Trabajo final curso SimSEE

Montevideo - Uruguay.

10/07/2024

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.

Contenido

Contenido.....	2
1. Objetivo del trabajo.....	3
2. Hipótesis de modelado general.....	3
3. Metodología.....	3
4. Casos simulados y resultados del estudio.....	5
4.1. Escenario 1: Sala base.....	5
4.2. Escenario 2: Sala base más 1 banco de baterías de 30 MW por 4 hs de valorización automática.....	6
4.3. Escenario 3: Sala base más 1 banco de baterías de 60 MW por 2 hs de valorización automática.....	10
4.4. Escenario 4: Sala base más 1 banco de baterías de 30 MW por 4 hs de valorización manual.....	14
4.5. Escenario 5: Sala base más 2 banco de baterías de 30 MW por 4 hs de valorización automática.....	17
4.6. Escenario 6: Sala base más 1 banco de baterías de 30 MW por 4 hs de valorización automática sin los motores de la Central Batlle.....	20
4.7. Análisis por variación de semillas.....	22
4.8. Análisis económico.....	24
4.8.1. Desde el punto de vista del sistema.....	24
4.8.2. Desde el punto de vista de un inversor.....	25
5. Conclusiones.....	26
6. Posibles futuros trabajos.....	27
6.1. Optimización de Valorización Manual para Bancos de Baterías.....	27
7. Anexo 1: Obtención del valor de pago por disponibilidad.....	28
7.1. Obtención del CAPEX.....	29
7.2. Obtención del OPEX.....	31
8. Anexo 2: Armado de la sala.....	33
8.1. Preparación de la sala base.....	33
8.2. Resumen.....	33
8.3. Detalle.....	33
8.4. Criterio para la numeración de las capas.....	39
8.5. Creación de los bancos de baterías.....	40
8.5.1. Resumen.....	40
8.5.2. Detalle.....	40
8.6. Creación de plantilla SimRes3.....	45
9. Anexo 3: Detalle de los escenarios corridos.....	49
10. Anexo 4: Análisis de precisión.....	51

1. Objetivo del trabajo

El objetivo del proyecto es analizar la afección de la incorporación de bancos de baterías en el sistema eléctrico, con la única función de compra y venta de energía, tanto desde el punto de vista de un inversor como desde el punto de vista del sistema en sí, probando distintos escenarios.

2. Hipótesis de modelado general

Para el modelado se utilizó como base la Sala ADME simplificada, con un plazo de simulación de un año.

Se consideraron varios escenarios, todos partiendo de la misma sala, modificando en ellos:

- Características del banco de baterías incorporado.
- Cantidad de bancos de baterías incorporados al sistema.
- Valorización automática según precio Spot (valor marginal con tope) o valorización manual.
- Baja de operación de la Central Batlle.

El detalle de la preparación de la sala se encuentra en el [Anexo 2: Armado de la sala](#).

3. Metodología

A partir de la sala simplificada *Sala_VATES_MP_20240423_simple_BaseParaProyecto* se plantea el estudio de la instalación de un proyecto de bancos de baterías al sistema eléctrico uruguayo con el fin de evaluar la rentabilidad tanto desde un punto de vista de un inversor como desde el punto de vista del sistema eléctrico.

Partimos desde un escenario base representativo del estado actual del sistema y se observa cómo evolucionan las principales variables del sistema para distintos escenarios con bancos de baterías de distintas potencias o capacidad de almacenamiento.

Inicialmente, se propone comparar bancos de baterías de 120 MWh de capacidad, de 2 horas y 4 horas, eligiendo la mejor opción, es decir, el de mayor rentabilidad entre estos dos.

Para el proyecto elegido, se evaluarán distintos escenarios modificando la cantidad de unidades de bancos o eliminando del sistema los motores de Central Batlle.

En el [Anexo 2: Preparación de la sala](#) se encuentra el detalle de la preparación de la sala, partiendo de la sala *Sala_VATES_MP_20240423_simple_BaseParaProyecto*, y realizando sobre la misma los cambios necesarios para el análisis en cuestión. El objetivo es simplificar detalles que no son relevantes para el presente estudio pero que repercuten en el tiempo de optimización y simulación del SimSEE.

Todas las comparaciones entre los resultados obtenidos para los distintos escenarios, se hacen teniendo en cuenta que las simulaciones se enganchan con el mismo costo futuro y para las mismas semillas.

En la tabla 3.11 se listan los escenarios que serán objeto de estudio.

Tabla 3.11: Lista de escenarios a estudiar

N°	Características del escenario
1	Escenario base.
2	Escenario base más 1 banco de baterías de 30 MW por 4 hs de valorización automática.
3	Escenario base más 1 banco de baterías de 60 MW por 2 hs de valorización automática.
4	Escenario base más 1 bancos de baterías del mejor de corrida 2 y 3 con valorización manual (compra = 50 y venta = 120).
5	Escenario base más 2 bancos de baterías del mejor de corrida 2 y 3 con valorización automática.
6	Escenario base más 1 bancos de baterías del mejor de corrida 2 y 3 con valorización automática, sin la Central Batlle.
7	Escenario N°1, aplicando la variación de semillas de simulación.
8	Escenario N°2, aplicando la variación de semillas de simulación.

4. Casos simulados y resultados del estudio

En el [Anexo 1: Obtención del valor de pago por disponibilidad](#) se encuentra el detalle de la obtención del valor del pago por disponibilidad.

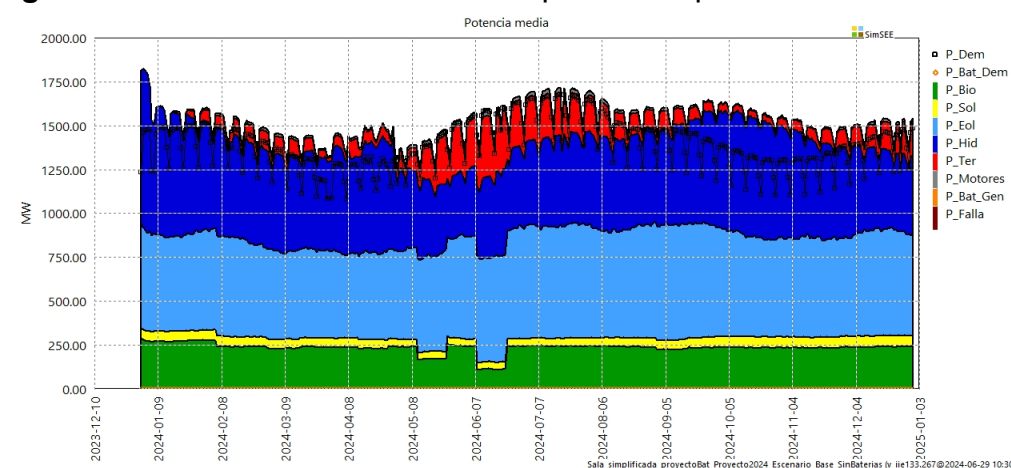
En el [Anexo 2: Preparación de la sala](#) se encuentra el detalle de la preparación de la sala, partiendo de la sala *Sala_VATES_MP_20240423_simple_BaseParaProyecto*, y realizando sobre la misma los cambios necesarios para el análisis en cuestión.

Para las optimizaciones y simulaciones se consideraron en todos los casos los mismos valores, excepto en los que el objetivo es realizar análisis de precisión.

4.1. Escenario 1: Sala base

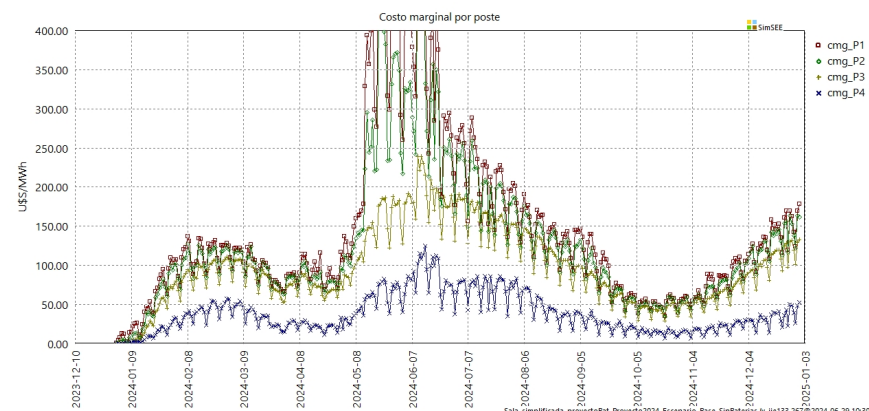
Escenario de partida para todos los análisis posteriores. Está representado en el mismo las condiciones actuales del sistema eléctrico del Uruguay. En las figuras a continuación se presentan las principales variables de interés.

Figura 4.11: Potencias medias diarias por fuente para el escenario Base.



En la figura 4.11 se observan las potencias medias diarias en MW-medios por fuente de generación. Mientras que en la figura 4.12 se observa el costo marginal por poste.

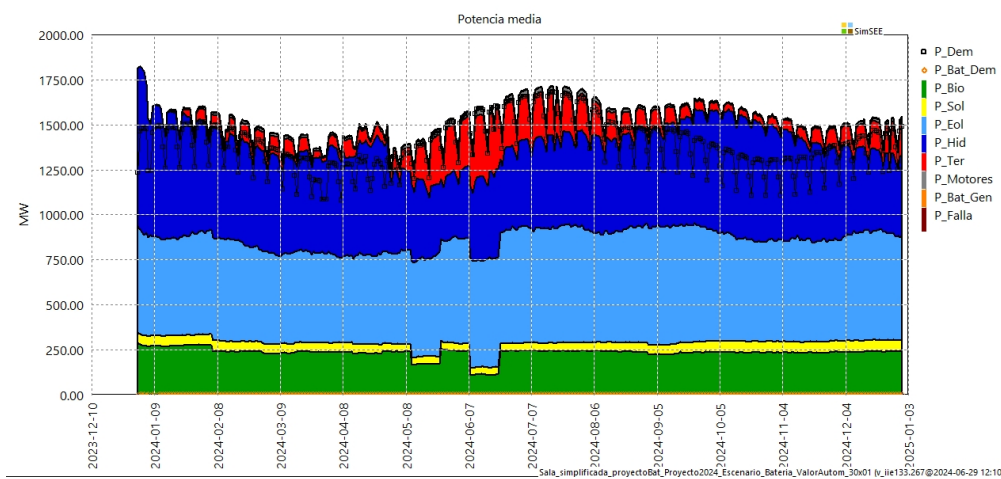
Figura 4.12: Costo marginal (U\$/MWh) por poste para el escenario Base.



4.2. Escenario 2: Sala base más 1 banco de baterías de 30 MW por 4 hs de valorización automática.

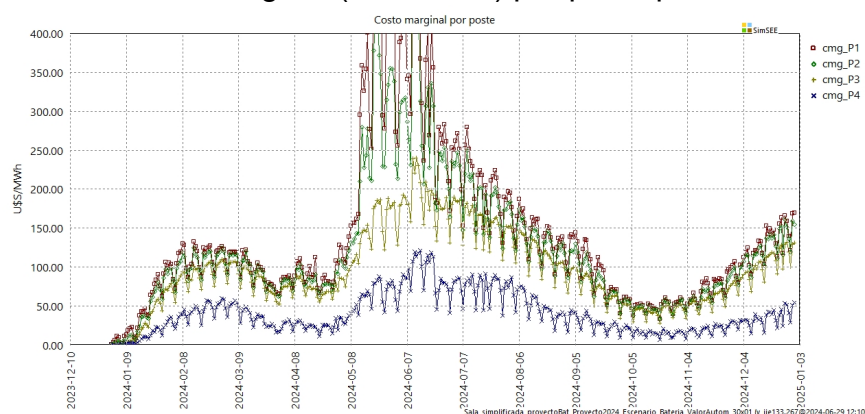
Al escenario **base**, se le agrega un banco de baterías de 30 MW por 4 horas. En la figura 4.21 se muestran las potencias medias diarias en MW-medios por fuente de generación. Se puede ver como la demanda y generación por parte del banco son imperceptibles para el sistema, lo cual era esperable dada la capacidad del mismo.

Figura 4.21: Potencias medias diarias por fuente para el Escenario 2.



En la figura 4.22, se muestra el costo marginal por poste. En comparación con el escenario base, no se observan cambios a simple vista. Sin embargo, analizando los datos individualmente se observa una leve disminución de los picos en P1 y un aumento en el poste P4.

Figura 4.22: Costo marginal (US\$/MWh) por poste para el Escenario 2.

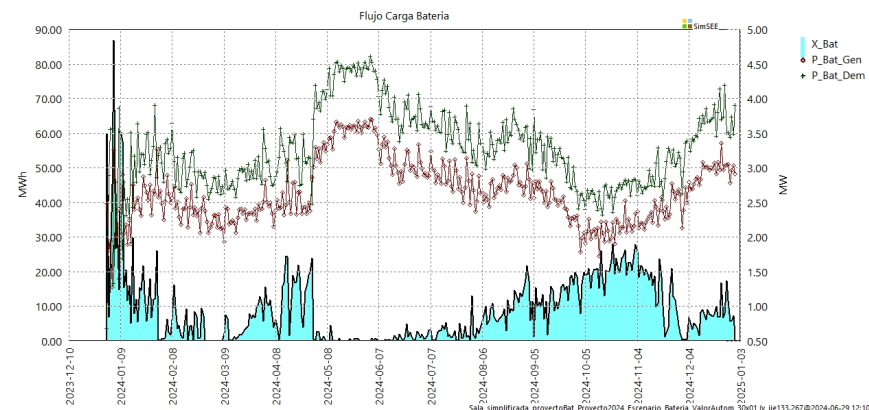


En la figura 4.23 se muestra el flujo de energía del banco de baterías. Los valores de potencia media diaria demandada y generada por la batería, da indicio de que la misma tiende a tener ciclos diarios de una carga y descarga.

Las curvas mantienen una misma forma, con una diferencia *aparente* de escala, lo cual se debe al rendimiento del banco (90% en la carga y en la descarga).

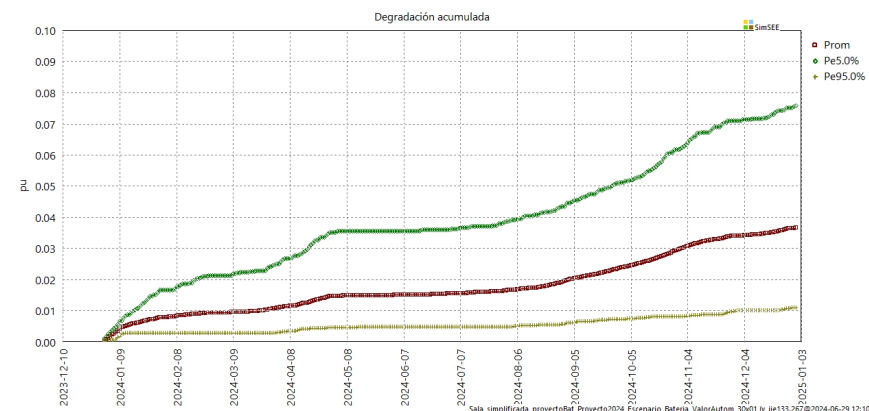
La demanda media es de 3.5 MW-medios, equivalente a una demanda de 84 MWh diarios. Por otro lado, la potencia generada media es de 3 MW-diarios aproximadamente, lo que equivale a que el banco devuelve 72 MWh diarios en promedio.

Figura 4.23: Potencias medias diarias de generación y demanda de baterías para el Escenario 2.



En la figura 4.24 se muestra la degradación acumulada de la batería en p.u. En el año típico simulado, la batería se degrada aproximadamente un 4% para este escenario.

Figura 4.24: Degradación de baterías acumulado para el Escenario 2.



En la figura 4.25 se presenta el pago por disponibilidad acumulado y actualizado al comienzo del año, con una tasa de 10% anual. Para el año simulado se obtiene un pago de 5.7 MU\$, valor acorde al valor obtenido en [Anexo 1: Obtención del valor de pago por disponibilidad](#) para un banco de 30 MW y 4 horas.

En la figura 4.26 se muestra el ingreso por compra-venta de energía al precio SPOT, actualizado al comienzo con tasa de 10%. La valorización de energía vendida alcanza los 2.5 MU\$ mientras que la compra de energía se valora en 0.6 MU\$, dando un beneficio anual de 1.9 MU\$ por intercambio de energía.

Figura 4.25: Pago por disponibilidad acumulado y actualizado para el Escenario 2.

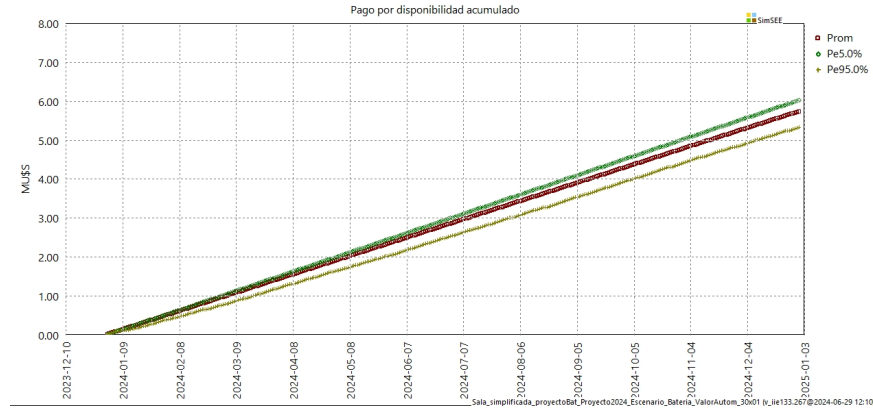
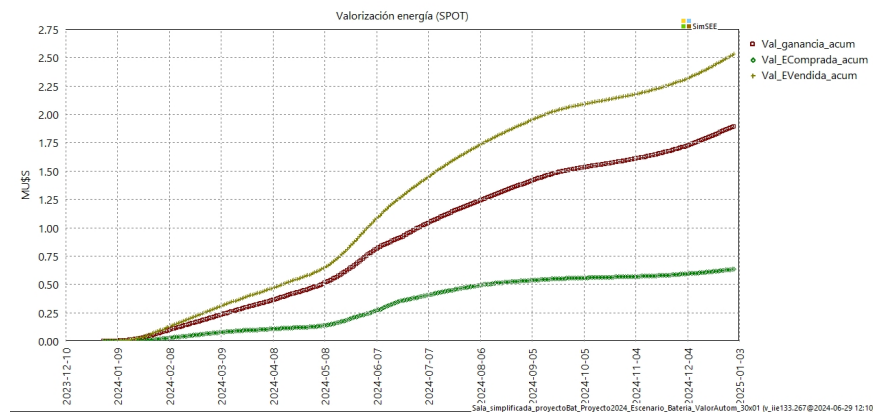


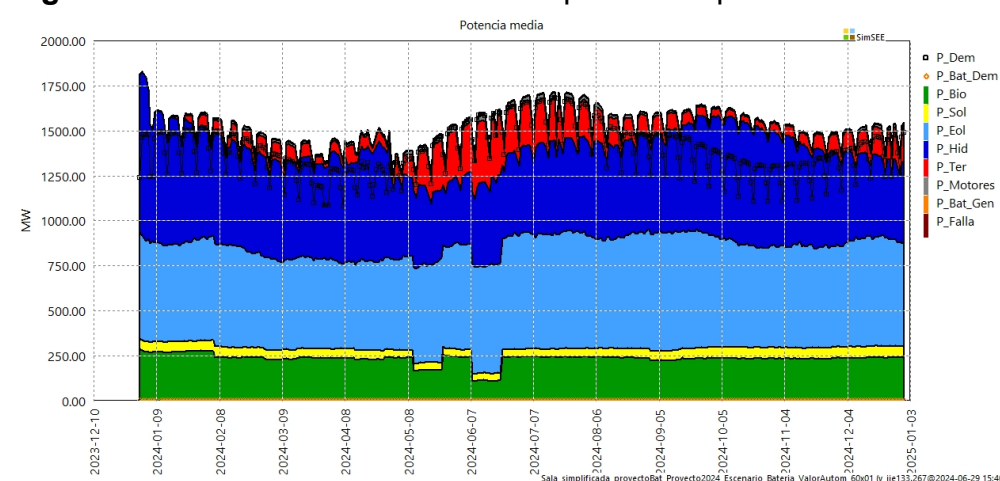
Figura 4.26: Ingreso por compra-venta de energía al SPOT actualizado para el Escenario 2.



4.3. Escenario 3: Sala base más 1 banco de baterías de 60 MW por 2 hs de valorización automática.

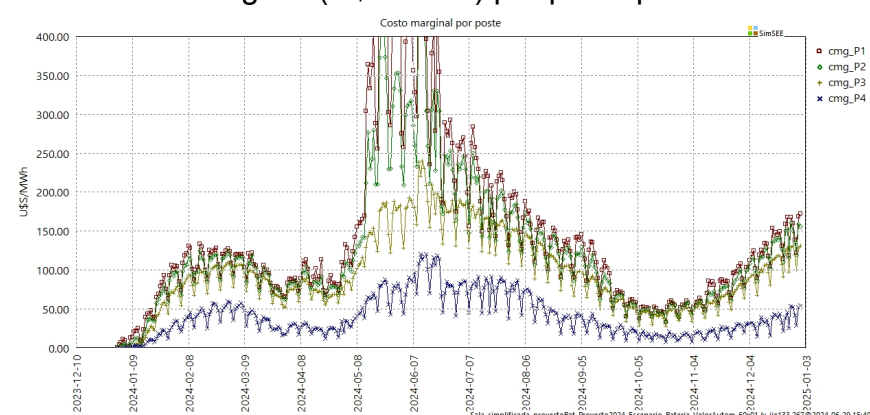
Al escenario **base**, se le incorpora un banco de baterías de 60 MW por 2 horas. El objeto de este escenario es evaluar si modificando las características del banco de baterías utilizado se obtendría mayor rentabilidad en el proyecto. Se mantiene la capacidad de almacenamiento del mismo (120 MWh) y se aumenta la potencia disponible para el despacho, de manera de poder tener la posibilidad de una mayor intervención en los picos de demanda.

Figura 4.31: Potencias medias diarias por fuente para el Escenario 3.



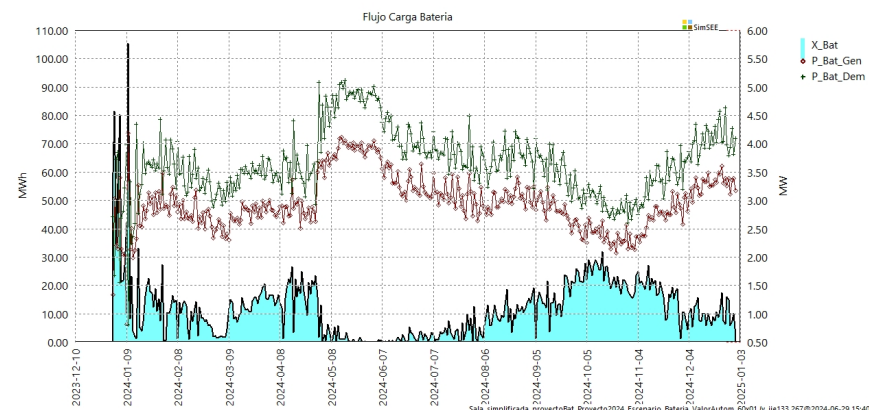
En la figura 4.32, se muestra el costo marginal por poste. Nuevamente no se observan cambios con escenarios anteriores pero si existen variaciones individuales en los datos con disminución en P1 y aumento P4.

Figura 4.32: Costo marginal (U\$/MWh) por poste para el escenario Base.



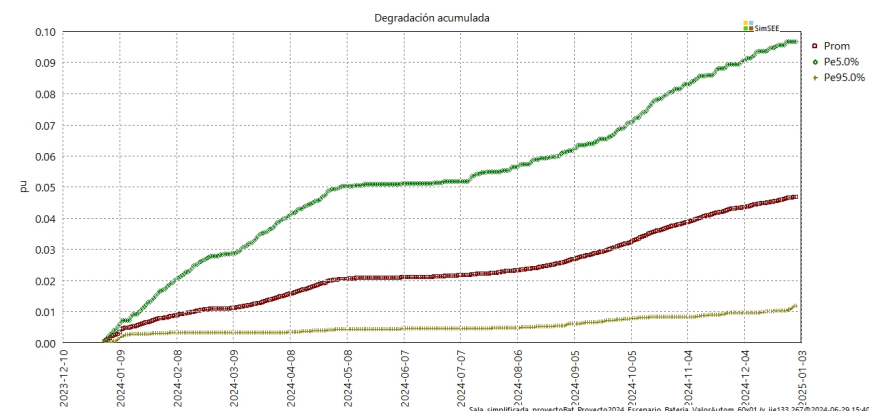
En la figura 4.33 se muestra el flujo de energía del banco de baterías. Tanto los valores medios diarios de energía demandada y generada como el estado de carga de la batería al final del día tienen un comportamiento similar al del escenario 2.

Figura 4.33: Potencias medias diarias de generación y demanda de baterías para el Escenario 3.



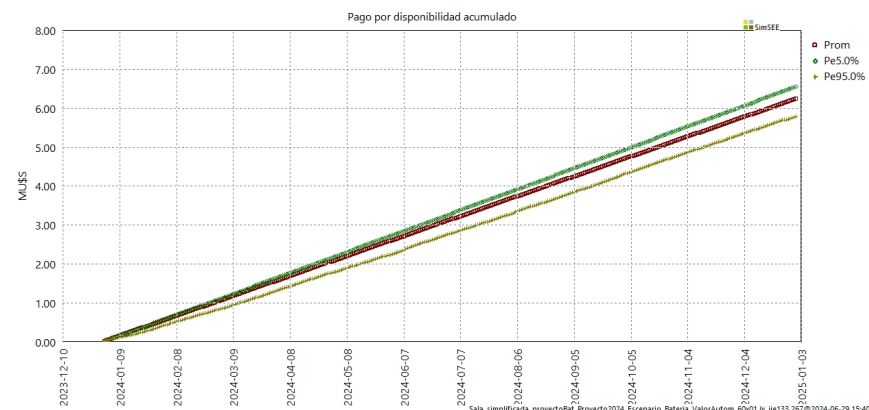
En la figura 4.34 se muestra la degradación acumulada de la batería en p.u. En el año típico simulado, la batería se degrada aproximadamente un 5% para este escenario.

Figura 4.34: Degradación de baterías acumulada para el Escenario 3.



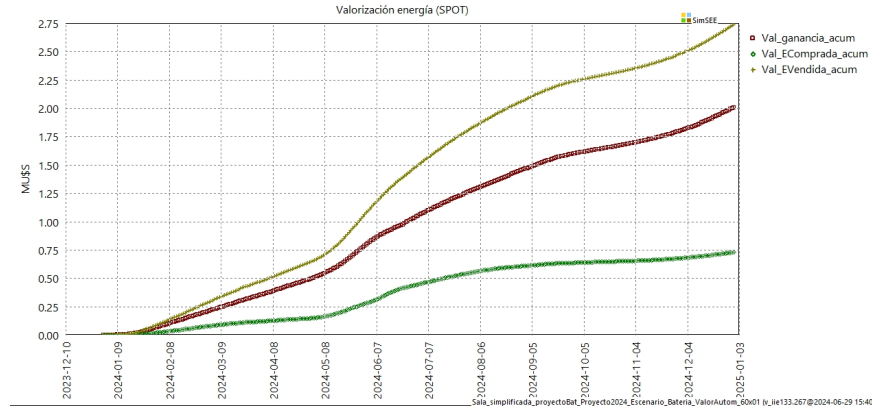
En la figura 4.35 se presenta el pago por disponibilidad acumulado y actualizado al comienzo del año, con una tasa de 10% anual. Nuevamente el valor obtenido de 6.2 MU\$ para el año simulado, es acorde al valor obtenido en [Anexo 1: Obtención del valor de pago por disponibilidad](#) para un banco de 60 MW y 2 horas.

Figura 4.35: Pago por disponibilidad acumulado y actualizado para el Escenario 3.



En la figura 4.36 se muestra la valorización del intercambio de energía al SPOT, obteniéndose un beneficio de 2 MU\$S. La venta alcanza un valor de 2.75 MU\$S y la compra 0.75 MU\$S. El beneficio final apenas mejora en 0.1 MU\$S el escenario 2 (sin tener en cuenta el error y la precisión de los resultados obtenidos).

Figura 4.36: Ingreso por compra-venta de energía al SPOT actualizado para el Escenario 3.



En este punto, se comparan los escenarios 1, 2 y 3 desde un punto de vista económico para el sistema y para un posible inversor.

Se realiza el análisis de la precisión del método por variación de semillas de simulación para obtener una precisión en la determinación del valor esperado, de 3% del rango con confianza 90% sobre el VE_CF para cada escenario.

En la tabla 4.31 se muestra un resumen de los resultados obtenidos. Si se toma en cuenta el error obtenido en MU\$S, no es posible concluir cuál es el mejor escenario en cuanto al valor esperado del CAD del sistema. Es razonable sugerir que para el sistema es transparente cualquier banco, y no tienen ningún valor agregado.

Por otro lado, desde un punto de vista de un inversor, en los escenarios 2 y 3, los bancos generan pérdidas económicas para el año simulado, de aproximadamente 3.8 MU\$S para el escenario 2 y de 4.2 MU\$S para el escenario 3. Tomando en cuenta esto, se selecciona el banco de 30MW por ser el que menos pérdidas trae para estas simulaciones con estas suertes.

Tabla 4.31: Tabla comparativa de resultados obtenidos para los escenarios 2 y 3

N° de corrida		1	2	3
Escenario		Escenario_Base_ SinBaterias	Escenario_ Bateria_Val Autom_30x 01	Escenario_ Bateria_Val Autom_60x 01
Error SimCosto	Min [MUSD]	586	590	590
	Max [MUSD]	4482	4415	4412
	Rango [MUSD]	3897	3825	3822
	VE [MUSD] (del CAD del sistema)	1074	1075	1075
	p (% del VE)	60%	60%	60%
	N	752	752	752
	%@90%conf	3%	3%	3%
	Error [MUSD]	114	112	112
Valorización energía (SPOT) acumulado	Val_ganancia_acum	-	1,89	2,01
Pago por disponibilidad acumulado	Prom [MUSD]	-	5,73	6,24

4.4. Escenario 4: Sala base más 1 banco de baterías de 30 MW por 4 hs de valorización manual.

En este escenario se estudió la rentabilidad del banco de batería con valorización manual, limitando la compra de energía a cuando el precio SPOT es menor a 50 U\$/MWh y la venta de energía a cuando el precio SPOT es mayor a 120 U\$/MWh.

Figura 4.41: Potencias medias diarias por fuente para el Escenario 4.

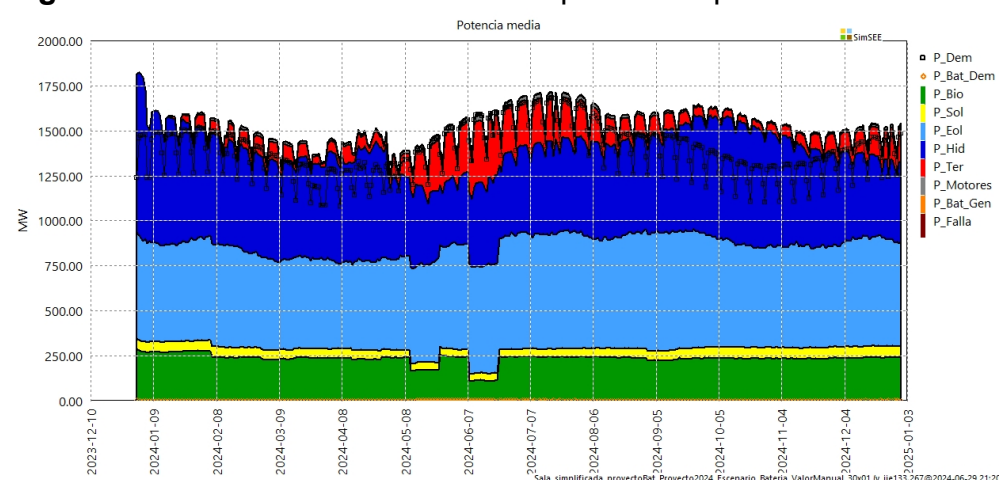
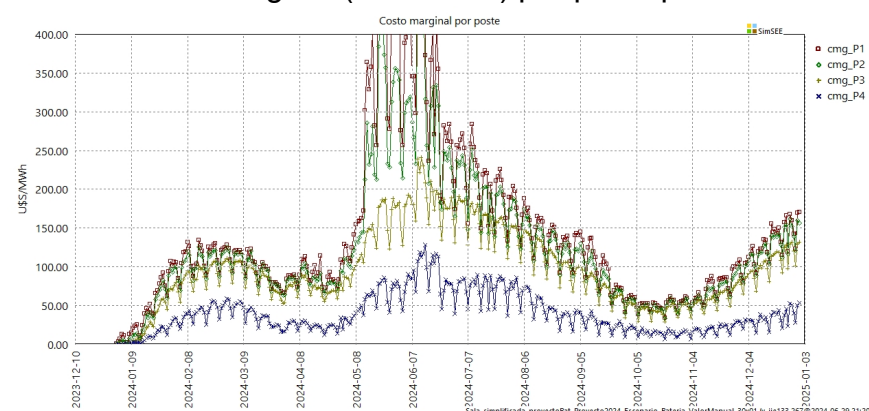


Figura 4.42: Costo marginal (U\$/MWh) por poste para el Escenario 4.



En la figura 4.43 se muestra el flujo de energía del banco de baterías. Se puede ver que inicialmente en los primeros meses del año de simulación, los valores de potencia media diaria demandada y generada por la batería se encuentran por debajo de 0.5 MW-medios. Debido a la abundancia, particularmente, de recurso eólico e hidráulico, que junto a la biomasa y solar logran abastecer la demanda sin necesidad de utilizar los recursos térmicos (ver figura 4.41). De esta forma el valor de la energía permanece por debajo de 120 U\$/MWh la mayor parte del tiempo, como se puede ver en la figura 4.42, y la venta de energía es mínima.

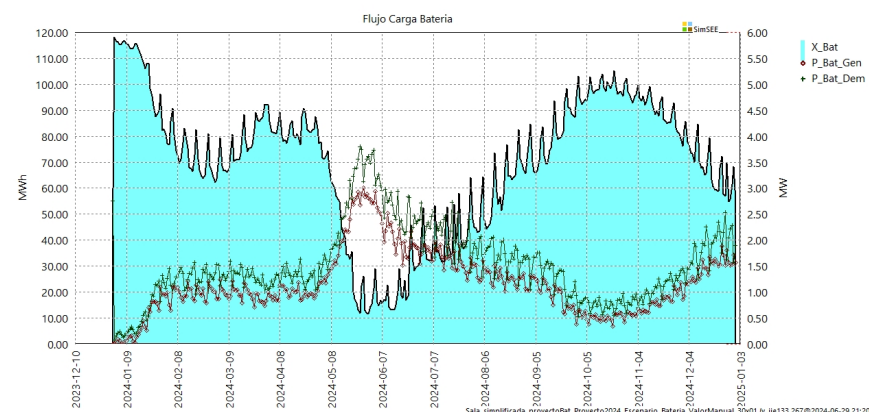
En consecuencia, el estado de carga al final del día del banco se mantiene en valores altos, en contrapartida de lo que sucedía para el banco con valorización automática.

Por otro lado, cuando llega el periodo de invierno, y por tanto el periodo de mayor demanda que coincide con una disminución de las renovables, aumenta la compra-venta de energía

por parte del banco. Esto se ve reflejado en la valorización, tanto de compra, como de la venta de energía, lo cual se ve en la figura 4.45. El aumento en el precio en este periodo, debido al aumento del uso del recurso térmico, genera un aumento en las pendientes de las valorizaciones de energía.

Esto ocurre también en los demás escenarios, pero es más visible el cambio en la pendiente en este caso, dado el uso limitado del banco en los periodos no-invernales.

Figura 4.43: Potencias medias diarias de generación y demanda de baterías para el Escenario 4.



En la figura 4.44 se observa que la degradación acumulada de la batería está por arriba del 5% anual, mientras que de acuerdo a lo observado en la figura 4.45, se obtiene un ingreso anual acumulado de compra venta de energía valorizado al SPOT de 1.7 MU\$, comparando esto con el [Escenario 2: Sala base más 1 banco de baterías de 30 MW por 4 hs de valorización automática](#), vemos que con valoración automática se logra mejores ingresos, lo cual es esperable al también mejorar el beneficio global para el sistema, y con menor degradación de la batería, lo cual no necesariamente se debe a cómo es utilizada la batería ya que el costo por degradación no está siendo contemplado en la optimización de la sala al no haberse habilitado dicho concepto.

Figura 4.44: Degradación de baterías acumulado para el Escenario 4.

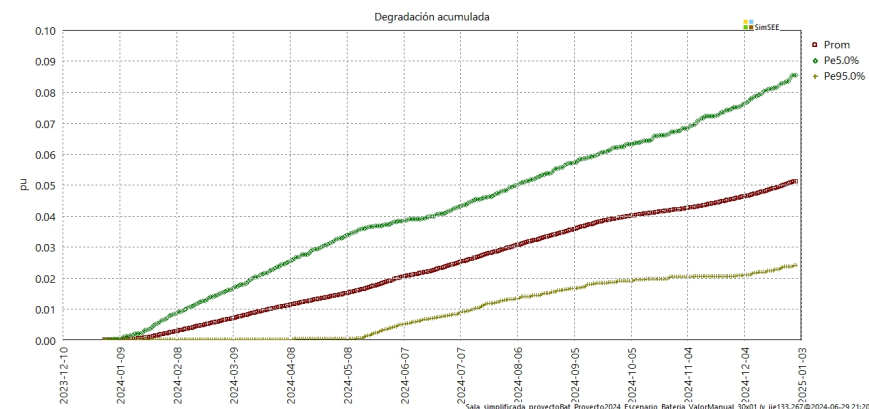
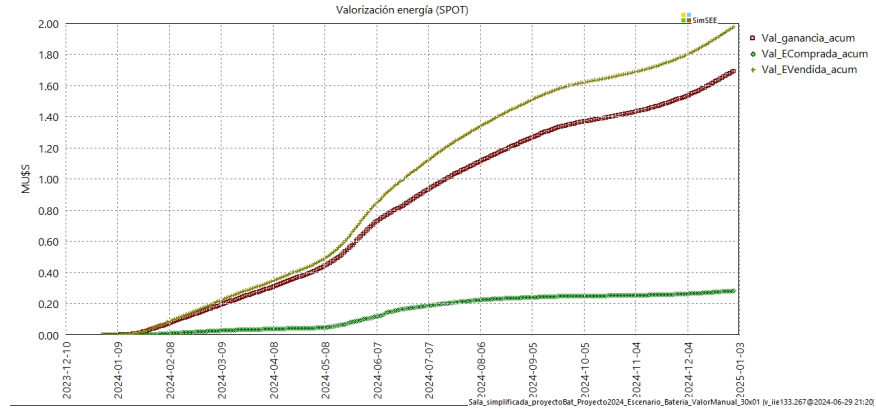


Figura 4.45: Ingreso por compra-venta de energía al SPOT actualizado para el Escenario 4.



4.5. Escenario 5: Sala base más 2 banco de baterías de 30 MW por 4 hs de valorización automática.

Al escenario **base**, se le agrega 2 bancos de baterías de 30 MW por 4 horas. En la figura 4.51 se muestran las potencias medias diarias en MW-medios por fuente de generación. Se puede ver como la demanda y generación incluso de 2 bancos son imperceptibles para el sistema al igual que en el [Escenario 2: Sala base más 1 banco de baterías de 30 MW por 4 hs de valorización automática](#). Por su parte en la figura 4.22 y figura 4.52 se muestra el costo marginal por poste en U\$S/MWh de cada respectivo escenario, se observa que no existe una variación perceptible en el costo, estos dos fenómenos

Figura 4.51: Potencias medias diarias por fuente para el Escenario 5.

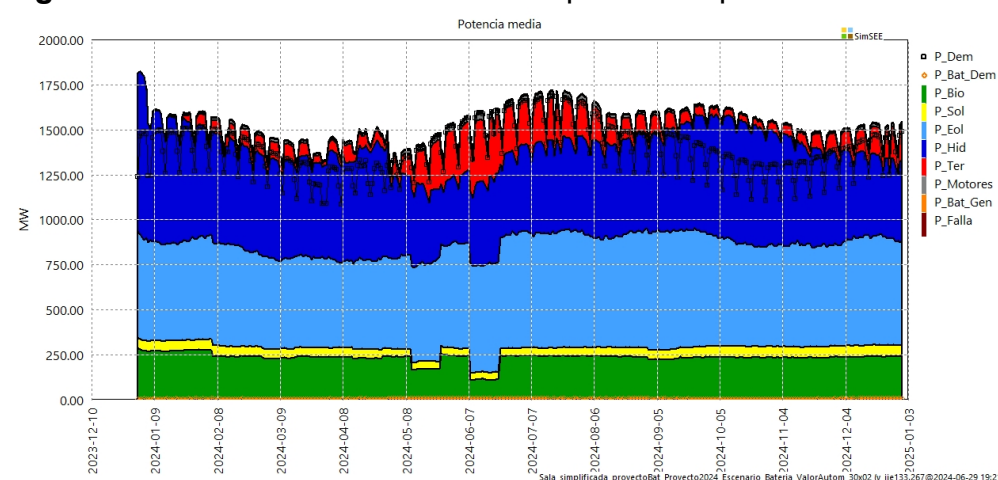
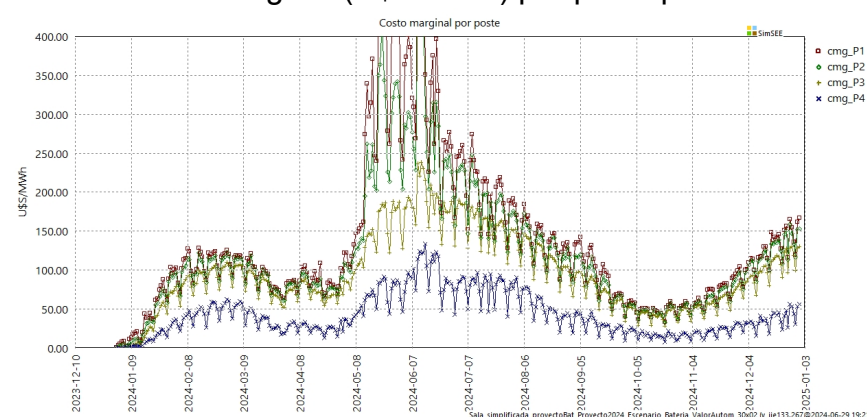


Figura 4.52: Costo marginal (U\$S/MWh) por poste para el Escenario 5.



En la figura 4.53 las potencias medias diarias de generación y demanda de baterías, en donde se puede ver un comportamiento para un solo banco de batería pero con el doble de potencia y energía, otra vez se observa la pérdida en la eficiencia de 0.9 tanto de potencia consumida como potencia generada. En la figura 4.54 se observa que la degradación acumulada de la batería también se mantiene cerca de un 4% al igual que en el escenario 2.

Figura 4.53: Potencias medias diarias de generación y demanda de baterías para el Escenario 5.

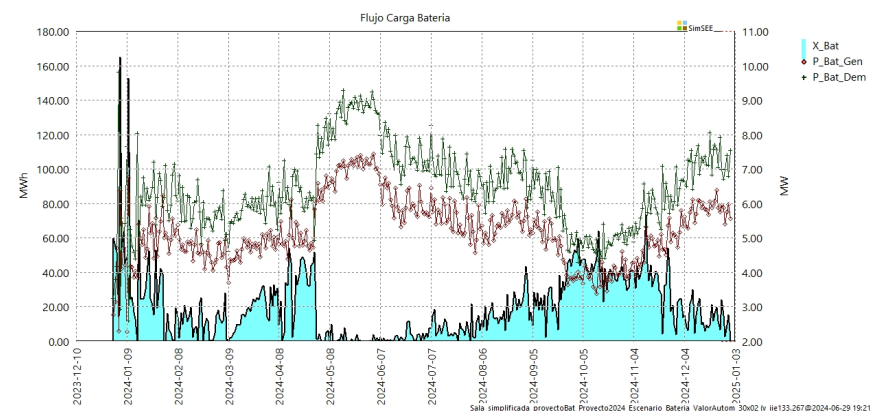
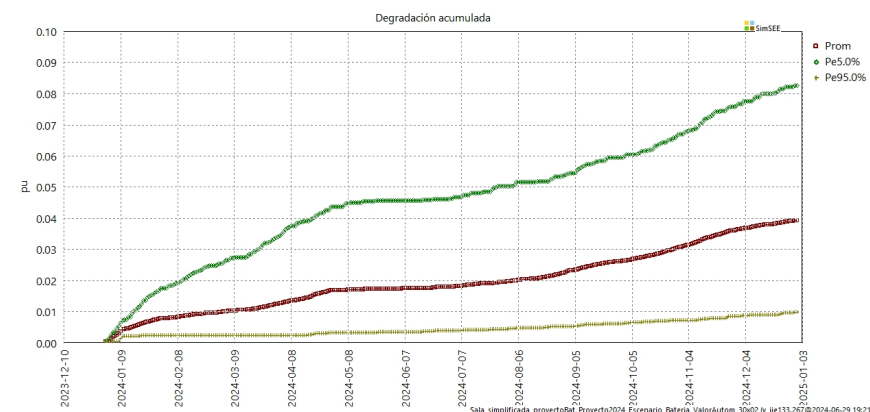


Figura 4.54: Degradación de baterías acumulada para el Escenario 5.



En la figura 4.55 vemos el acumulado del pago por disponibilidad de los bancos, el cual en un año ronda los 11.5 MU\$, lo cual tiene mucho sentido ya que es en valor del pago de disponibilidad de 2 bancos donde cada uno ronda los 5.7 MU\$ según la figura 4.25. También el ingreso por compra venta de energía valorizado al SPOT en el año ronda los 3.6 MU\$ lo cual es el doble del ingreso por un solo banco, el cual ronda los 1.9 MU\$, lo cual indica una vez más, que el o los bancos no mueven gran cantidad de energía en comparación con la energía del sistema, esto también se observó en la generación por fuente del sistema.

Figura 4.55: Pago por disponibilidad acumulado y actualizado para el Escenario 5

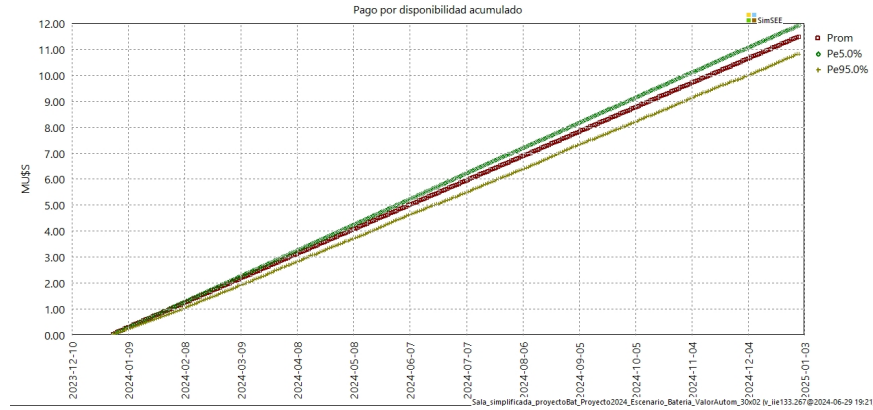
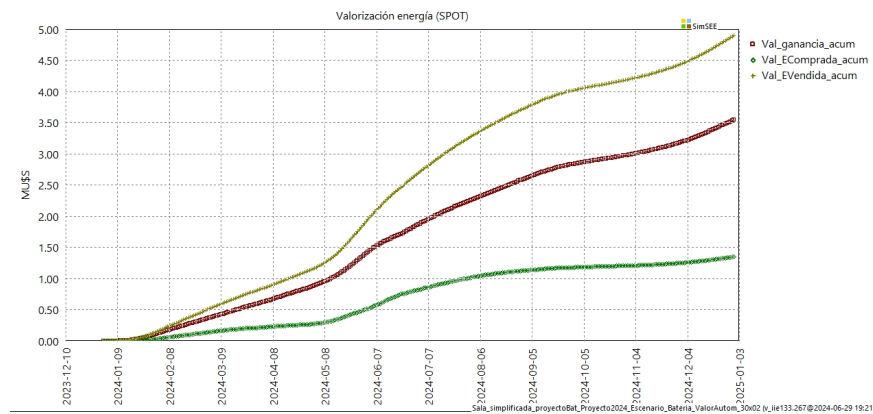


Figura 4.56: Ingreso por compra-venta de energía al SPOT actualizado para el Escenario 5.



4.6. Escenario 6: Sala base más 1 banco de baterías de 30 MW por 4 hs de valorización automática sin los motores de la Central Batlle.

Para esta simulación se utilizó la misma configuración del escenario 2 pero se sacaron de funcionamiento los motores de la Central Batlle. En la figura 4.61 se observa el costo marginal promedio por poste diario y en comparación con la figura 4.22 no se puede observar grandes cambios. Pero se pueden observar diferencias entre los escenarios en las figuras 4.64 y 4.65 en donde se tiene un pago por disponibilidad acumulado al año de 5.7 MU\$ que es igual al acumulado del escenario 2, figura 4.25, pero se tiene un ingreso mayor por compra y venta de la energía valorada al SPOT alcanzando 2 MU\$ al año en comparación con los 1.9 MU\$ del escenario 2, figura 4.26. Esto sugiere que los motores eran más un competidor para el banco que un aliado a la hora de repartirse la energía.

Figura 4.61: Costo marginal (U\$/MWh) por poste para el Escenario 6.

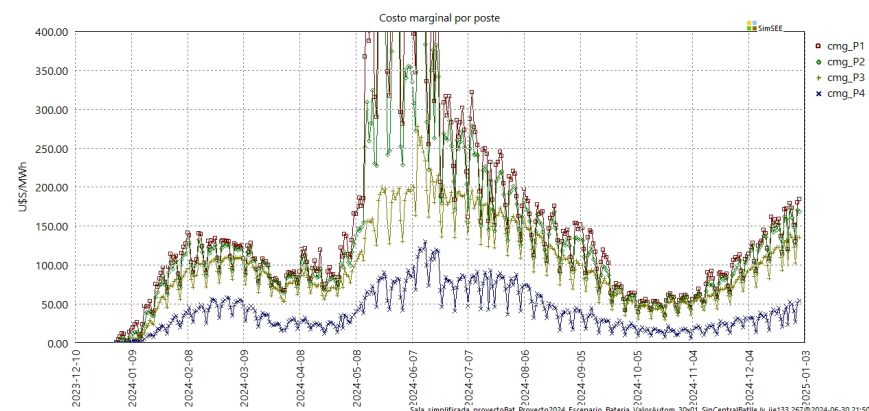
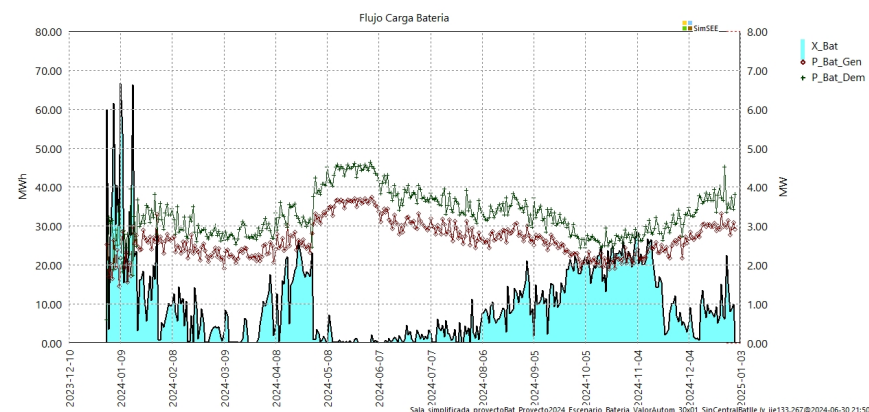


Figura 4.62: Potencias medias diarias de generación y demanda de baterías para el Escenario 6.



En la figura 4.63 se observa una degradación de la batería que supera por muy poco la del escenario 2, pero otra vez apunta a un uso mayor bajo estas condiciones.

Figura 4.63: Degradación de baterías acumulada para el Escenario 6.

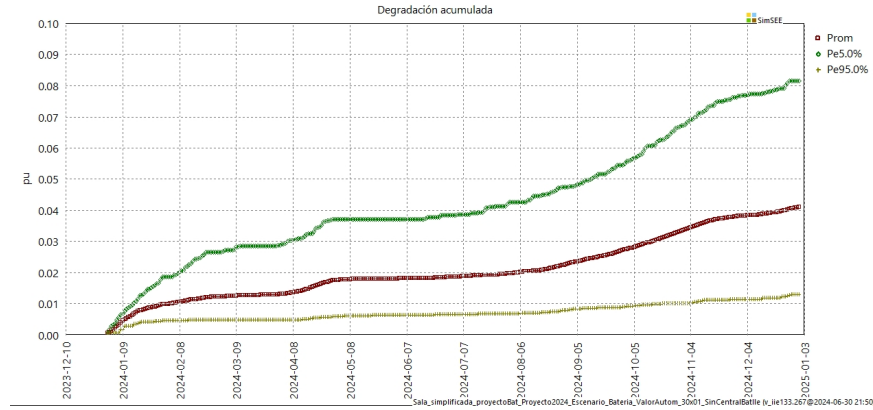


Figura 4.64: Pago por disponibilidad acumulado y actualizado para el Escenario 6.

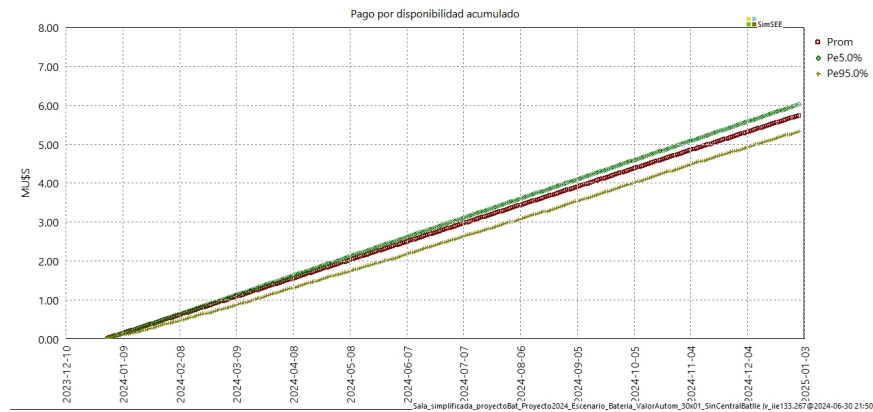
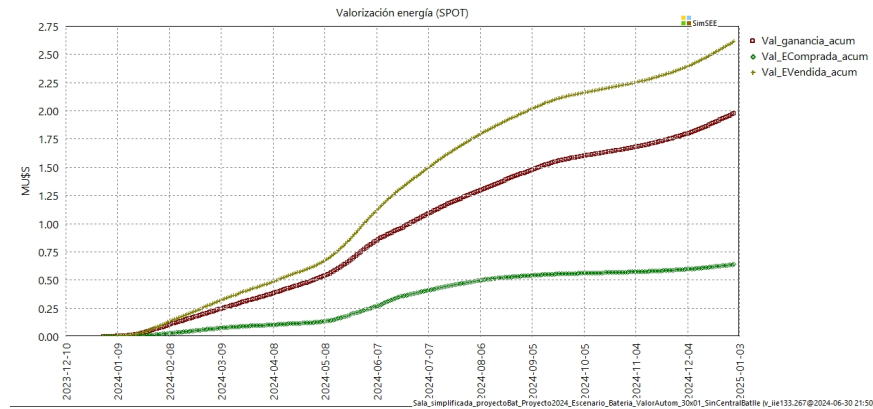


Figura 4.65: Ingreso por compra-venta de energía al SPOT actualizado para el Escenario 6.



4.7. Análisis por variación de semillas

Para la verificación de la persistencia de los resultados numéricos se utilizó la variación de semillas para comparar el escenario 1 y escenario 2. Para esto se genera un archivo con extensión “.bat”, con la ayuda de la planilla de excel “arma_bat_curso2023SimSEE”, en donde se variaron las semillas de optimización y las de simulación. Se utilizaron 5 semillas para las optimizaciones y 1000 semillas para las simulaciones. Se muestran los resultados en la tabla 4.61.

Se observa que para el sistema hay una variación promedio de la diferencia de CF_VE entre los escenarios de -0.9 MU\$, esto quiere decir que las baterías encarecen el sistema, aunque si se toma en cuenta que en base a la confianza que se está otorgando de un 90% con un error del 3% del rango, calculado en [Anexo 4: Análisis de precisión](#), es decir cerca de 112 MU\$, lo que se puede observar es que las baterías, sus costos y su uso no son representativos para el sistema.

Tabla 4.61: Análisis por variación de semillas para comparar las mismas suertes.

Crónicas de Simulación:			1000	CF_VE
Semillas		Bateria_ValorAutom_30x01	Base_SinBaterias	dif
31	1030	1091	1091	-0,8
1031	2030	1075	1074	-0,8
2031	3030	1075	1074	-0,7
3031	4030	1065	1064	-0,8
4031	5030	1076	1075	-1,0
5031	6030	1070	1069	-0,9
6031	7030	1068	1067	-1,0
7031	8030	1080	1080	-0,7
8031	9030	1070	1069	-0,8
9031	10030	1067	1066	-1,0
10031	11030	1068	1067	-1,1
11031	12030	1045	1044	-0,9
12031	13030	1074	1073	-0,8
13031	14030	1046	1045	-1,2
14031	15030	1059	1058	-0,8
15031	16030	1067	1066	-1,1
16031	17030	1066	1065	-0,9
17031	18030	1074	1073	-0,9
18031	19030	1073	1072	-0,9
19031	20030	1074	1074	-0,7
Promedio				-0,9

Se realiza un análisis similar de forma manual, tomando de cada simulación la valorización de compra venta de energía acumulada y pago por disponibilidad acumulada. Se verifica la persistencia de los datos y se deduce que se debe reducir al menos un 70% los costos fijos (inversión y mantenimiento, osea, CAPEX y OPEX) para que sea económicamente viable. La tabla 4.62 muestra la información de la semillas corridas tanto para optimización y simulación y los resultados obtenidos de las variables a evaluar

Tabla 4.62: Análisis por variación de semillas para verificar persistencia de inversión.

		N° de corrida	1	2	3	4	5
		Semillas	31	1031	2031	3031	4031
Valorización energía (SPOT) acumulado	Val_ganancia_acum		1,92	1,90	1,89	1,91	1,88
	Pago por disponibilidad acumulado	Prom [MUSD]	5,74	5,73	5,71	5,74	5,73
	Pago por disponibilidad acumulado reducido	Prom [MUSD]	1,72	1,72	1,71	1,72	1,72
30%	Ganancia neta total costo reducido (30%) [MUSD]		0,20	0,18	0,18	0,19	0,16

4.8. Análisis económico

Para el análisis económico se usaron los resultados obtenidos en las simulación y con estos se amplía la información de la tabla 4.31. En la tabla 4.63 se muestra el resumen de los resultados de las simulaciones.

Tabla 4.63: Tabla comparativa de resultados obtenidos para los distintos escenarios

Doc original		N° de corrida	1	2	3	4	5	6
Escenario		Escenario_Base_SinBaterias	Escenario_Bateria_ValAutom_30x01	Escenario_Bateria_ValAutom_60x01	Escenario_Bateria_ValManual_30x01	Escenario_Bateria_ValAutom_30x02	Escenario_Bateria_ValAutom_30x01	Escenario_Bateria_ValAutom_30x01
Data original:	Min [MUSD]	586	590	590	591	594	591	591
simcosto_1003	Max [MUSD]	4482	4415	4412	4422	4429	4667	4667
1x752_Escenario_Bateria_ValAutom_60x01	Rango [MUSD]	3897	3825	3822	3832	3835	4076	4076
Error SimCosto	VE [MUSD] (del CAD del sistema)	1074	1075	1075	1077	1076	1087	1087
Luego procesado en:	p (% del VE)	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
Error_simcosto	N	752	752	752	752	752	752	752
	%@90%conf	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
	Error [MUSD]	114	112	112	113	113	120	120
hoja_Valorización	Valorización energía (SPOT) acumulado	-	1,89	2,01	1,69	3,55	1,98	1,98
hoja_pago_disponibilidad_acum	Pago por disponibilidad Prom [MUSD]	-	5,73	6,24	5,74	11,48	5,73	5,73

4.8.1. Desde el punto de vista del sistema

Para evaluar el impacto económico y determinar cómo impacta el banco de baterías en el sistema dependiendo del escenario planteado, se utilizó el CAD en cada caso.

En la tabla 4.63 se observa que el costo de abastecimiento de la demanda es menor para el escenario base, es decir, que un banco de baterías bajo distintas condiciones perjudica el CAD del sistema.

Se debe tomar en cuenta que entre el escenario 1 (sin bancos) y el escenario 2 (con un banco de baterías de 30MW por 4h) hay pérdida por la instalación del banco de 1 MU\$S, sin embargo, estos resultados se plantean con una precisión calculada en el [Anexo 4: Análisis de precisión](#), que bajo un 90% de confianza se tiene un error de 3% del rango, es decir se tiene un error de 112 MU\$S. esto indica que realmente no se puede dar de forma definitiva alguna conclusión.

4.8.2. Desde el punto de vista de un inversor

Para poder estudiar el impacto económico del banco de batería desde el punto de vista de un inversor, se calcula por calcular la ganancia del banco por la compra venta de energía al SPOT y los gastos del pago por disponibilidad.

En la tabla 4.63 se observa que para ningún caso de los escenarios planteados el ingreso por compra y venta de energía al SPOT superó el pago por disponibilidad acumulado, esto quiere decir, que el banco de baterías desde el punto de vista de un inversor no es económicamente rentable, dando pérdidas.

En la tabla 4.62 del punto de [Análisis por variación de semillas](#) se puede ver que para que la instalación de un proyecto de bancos de baterías empiece a ser rentable se debe reducir el costo de CAPEX+OPEX en un 70%.

5. Conclusiones

A nivel del sistema, los bancos de baterías estudiados, no se visualizan en el análisis de potencias medias diarias, lo cual es esperable dada la capacidad de almacenamiento de los bancos.

En todos los escenarios se observó que los bancos de baterías logran disminuir los costos en los picos (poste P1) pero aumentan los costos en el llano (poste P4).

Se realiza el análisis de la precisión del método por variación de semillas de simulación. Para 752 crónicas se tiene una precisión en la determinación del valor esperado de 3% del rango, con confianza 90% sobre el VE_CF para cada escenario, obteniendo que la diferencia resultante al comparar escenarios es muy inferior al error en [MU\$S] obtenido.

Se generó análisis por variación de semillas para comparar las mismas suertes entre el escenario base y el escenario elegido (30MW, 4 horas), variando las semillas de optimización y simulación. Si bien vemos una persistencia en los resultados obtenidos, lo cual indica que los resultados son coherentes, el valor de diferencia entre ambos escenarios es indiferente para el sistema.

Se verificó que la modalidad de valorización manual, para los valores utilizados limita el uso de las baterías en el sentido que, en los casos en que hay abundancia de recurso, por ejemplo eólico y hidráulico, dado que el valor spot de la energía es menor, tiende a limitar la venta de energía, lo que lleva a no aprovechar las diferencias diarias que sí se podrían aprovechar para esos casos. En contrapartida, cuando hay escasez de recursos, el precio spot es más alto, lo cual limita la compra de energía por parte del banco, limitando también el intercambio de energía.

Ninguno de los proyectos analizados resultó ser rentable. En primera instancia, el banco de 30 MW por 4 horas parece ser el que genera menos pérdidas económicas, por lo cual se elige este proyecto por sobre el banco de 60 MW por 2 horas. Sin embargo, la diferencia se debe principalmente al costo inicial de cada proyecto. El banco con menor autonomía es más caro, aunque si se considera únicamente el intercambio de energía, los beneficios parecen ser mayores.

Finalmente se genera análisis similar de variación de semillas (de forma manual) para verificar la persistencia en los resultados que son de interés para el inversor. En este caso se observa que las pérdidas económicas se mantienen y se estima que debe reducirse el costo de inversión y operación en un 70% para que el proyecto sea rentable.

6. Posibles futuros trabajos.

6.1. Optimización de Valorización Manual para Bancos de Baterías

Analizar para la modalidad de valorización manual, cuales son los valores a setear como límites para la compra y venta (si los hay), que mantengan los beneficios por compra-venta de energía del banco de baterías. Buscar valores estacionales para dichos límites, en caso que no sea posible encontrar valores fijos que cumplan con mantener esos beneficios.

6.2. Evaluar desde el punto de vista del sistema cuando los bancos son relevantes

Al comparar los bancos de 120 MWh de 4 horas y 2 horas, el primero resultó ser el que trae menos pérdidas económicas desde el punto de vista de un inversor, principalmente debido al costo del segundo. Sin embargo, para el sistema, no cambia demasiado el costo del despacho debido al tamaño de los bancos. Es de interés evaluar en un contexto donde la capacidad de almacenamiento de los bancos es relevante, si el sistema prefiere tener más capacidad de empuntamiento que más autonomía.

7. Anexo 1: Obtención del valor de pago por disponibilidad

El pago por disponibilidad se compone de los costos de inversión inicial (CAPEX) y de los costos de operación y mantenimiento (OPEX).

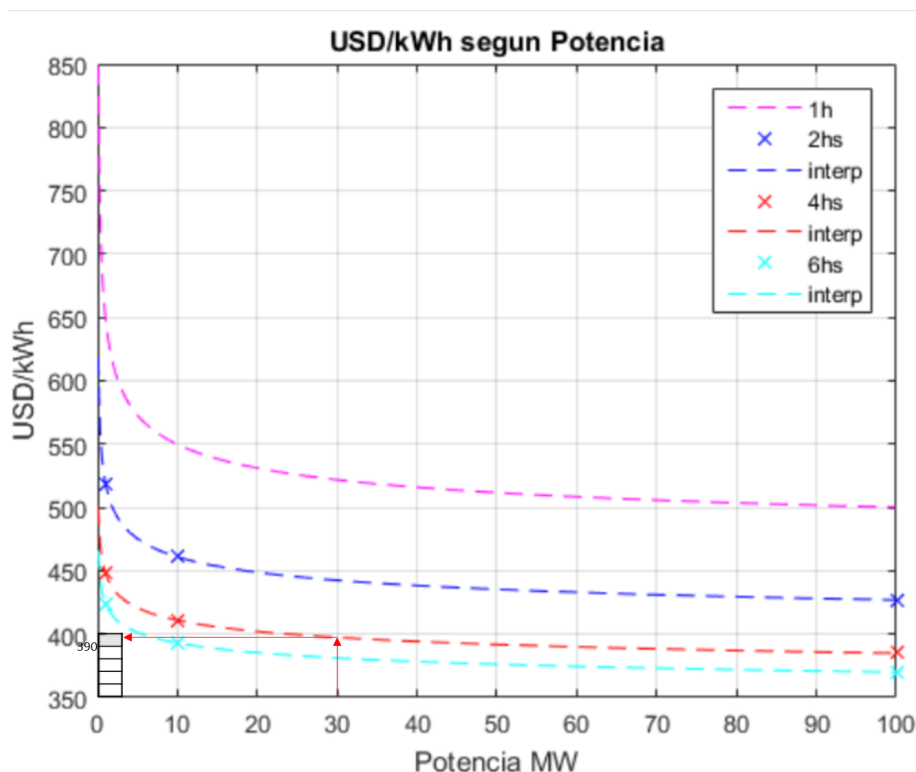
- El CAPEX incluye equipamiento, desarrollo de proyecto, ingeniería y construcción, adquisición de componentes, entre otros.
- El OPEX se expresa como una tasa anual constante. Se estima teniendo en cuenta los costos de mantenimiento, la vida útil esperada del sistema y otros factores relevantes.

Fuente:

Sistema de Almacenamiento a Gran Escala con Baterías. Memoria de proyecto de fin de carrera presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República por: Marín Algorta, Santiago Loureiro, Florencia Pereyra. Año 2003.

7.1. Obtención del CAPEX

Figura 7.11: Costo del BESS (USD/kWh) para diferentes configuraciones del banco fijando las horas de duración



Valor para el caso de estudio: 397 USD/kWh por año

Valores utilizados:

Energía teórica = 120 MWh = 120.000 kWh

Energía real = Energía teórica * Rendimiento = 120 MWh * 95% = 114 MWh

Costo de energía = 397 USD/kWh (gráfico)

Horas del año = 365,25 días/año * 24 horas/día = 8766 h

Cálculo:

$$\text{CAPEX}_{\text{total}}(\text{USD}) = C_E(\text{USD/kWh}) * E_{\text{teórica}}(\text{kWh})$$

$$= 397 \text{ USD/kWh} * 120.000 \text{ kWh}$$

$$= 47.640.000 \text{ USD}$$

$$\text{CAPEX}_{\text{anual}}(\text{USD}) = - \text{PAGO} (\text{Tasa de actualización} ; \text{Años de vida} ; \text{CAPEX}_{\text{BESS}}(\text{USD}))$$

$$= - \text{PAGO} (0,1 ; 20 ; 47.640.000 \text{ USD})$$

$$= 5.595.777 \text{ USD}$$

$$\text{CAPEX(USD/h)} = \text{CAPEX}_{\text{anual}}(\text{USD}) / \text{HorasAño(h)}$$

$$= 5.595.777 \text{ USD} / 8.960 \text{ h}$$

$$= 638,79 \text{ USD/h}$$

$$\text{CAPEX(USD/MWh.h)} = \text{CAPEX}_{\text{anual}}(\text{USD/h}) / E_{\text{real}}(\text{MWh})$$

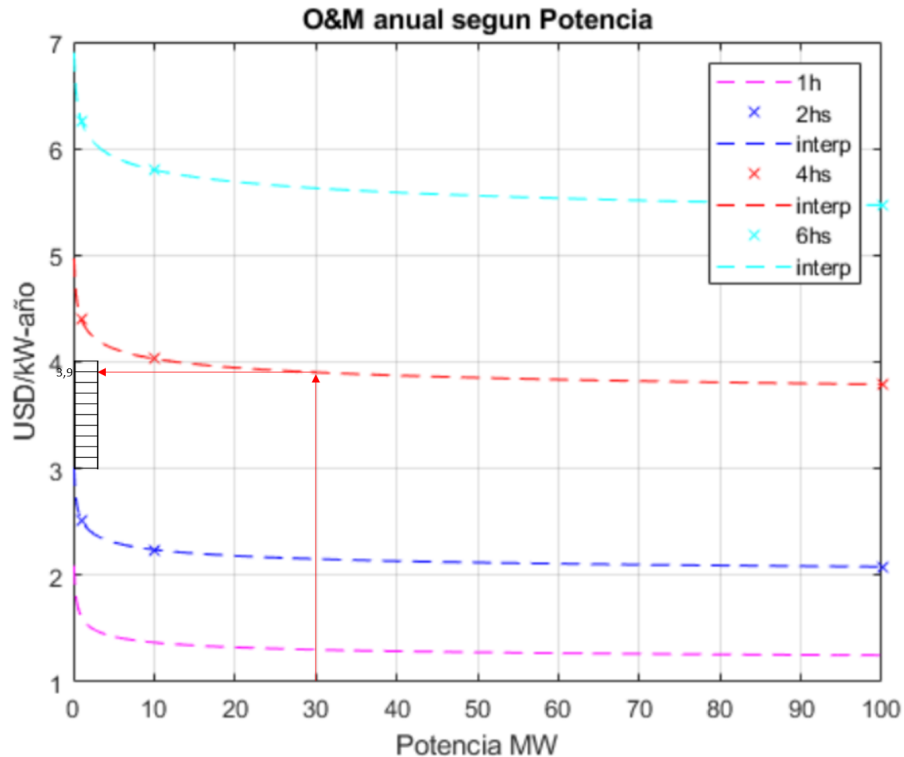
$$= 638,79 \text{ USD/h} / 114 \text{ MWh}$$

$$= 5,60 \text{ USD/MWh.h}$$

CAPEX = 5,60 USD/MWh.h

7.2. Obtención del OPEX

Figura 7.21: Costo de O&M (USD/kW-año) para diferentes configuraciones del banco fijando la capacidad de almacenamiento



Valor para el caso en cuestión: 3,9 USD/kW por año

Valores utilizados:

Potencia teórica = 30 MW = 30.000 kW

Energía real = Energía teórica * Rendimiento = 120 MWh * 95% = 114 MWh

Costo de operación de mantenimiento = 3,9 USD/kW-año (gráfico)

HorasAño = 365,25 días/año * 24 horas/día = 8766 h

Cálculo:

$$\begin{aligned} \text{OPEX}_{\text{anual}}(\text{USD}) &= C_{\text{O\&M}}(\text{USD/kW}) * P_{\text{teórica}}(\text{kW}) \\ &= 3,90 \text{ USD/kW} * 30.000 \text{ kW} \\ &= 117.000 \text{ USD} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{OPEX}(\text{USD/h}) &= \text{OPEX}(\text{USD}) / \text{HorasAño}(\text{h}) \\ &= 117.000 \text{ USD} / 8766 \text{ h} \\ &= 13,5 \text{ HSD/h} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{OPEX}(\text{USD/MWh.h}) &= \text{OPEX}(\text{USD/h}) / (E(\text{MWh}) * \text{Rendimiento}) \\ &= 13,35 \text{ USD/h} / (120 \text{ MWh} * 0,95) \\ &= 0,12 \text{ USD/MWh.h} \end{aligned}$$

OPEX = 0,12 USD/MWh.h

8. Anexo 2: Armado de la sala

8.1. Preparación de la sala base

8.2. Resumen

Partiendo como base de la sala *Sala_VATES_MP_20240423_simple_BaseParaProyecto*, se preparó la sala base realizando las siguientes modificaciones:

1. Como período de simulación se tomó 1 año, y para evitar condicionarla, como período de optimización se consideró que comienza 1 mes antes y finaliza 1 mes después respecto a la simulación.
2. Se eliminaron del sistema las fuentes y los actores que no se utilizarían.
3. A todos los actores, tanto en la ficha como en las unidades disponibles, a la primera línea se le modificó la fecha a “Auto”, para asegurar que siempre “exista” el actor.
4. A los actores hidráulicos que lo requirieron, se les modificaron los parámetros de los aportes, ya que algunos de ellos estaban referenciados a fuentes que fueron eliminadas.
5. Algunos actores hidráulicos se pasaron a valorizado manual.

8.3. Detalle

Sala de partida: Sala ADME simplificada (*Sala_VATES_MP_20240423_simple*)

→ Variables globales:

→ Modificamos período de simulación y optimización: 1 año de simulación, y la optimización arranca 1 mes antes y termina 1 mes después

→ Período de simulación:

→ Fecha de inicio: 01/01/2024

→ Fecha de fin: 01/01/2025

→ Período de optimización (continúa hasta un mes después de la simulación):

→ Fecha de inicio: 01/12/2023

→ Fecha de fin: 01/02/2025

Editor - SimSEE - v_ije133.267 (GPLv3, IIE-FING) - Sala_simplificada_proyectoBat.ese

Archivo Herramientas ? Idioma

Notas Variables Globales Fuentes Actores Archivos Estados Mantenimientos Monitores SimRes3 Simulador ? Combustibles CO2 Flucar Cluster ADME Consola PI

Horizonte de tiempo

Optimización: Fecha de Inicio: 2023-12-01 00:00 Fecha de fin: 2025-02-01 00:00 Huso horario: -3 ?

Simulación: 2024-01-01 00:00 2025-01-01 00:00 Horizonte de guarda para simulación: 1899-12-30 00:00

Paso de tiempo

Unidades del paso de tiempo

☒ Horas ☐ Minutos

Número de Postes: 4 ☒ Postes monótonos

Poste N°	1	2	3	4
Duración	1	4	13	5

Informativo.

Duración del paso del tiempo [h]: 24 Pasos de optimización: 428 Pasos de simulación: 366

→ Fuentes:

→ Se quitaron las fuentes que no se utilizarían (por ejemplo las de aportes).

Ap_bon_mult	Fuente constante	0, 2024-04-20: 0, 2...			
Ap_Palmar_mult	Fuente constante	0, 2024-04-16: 0, 2...			
Ap_Bon_tun_	Fuente producto	0, fuenteA= Aportes...			
Ap_Pal_tun_	Fuente producto	0, fuenteA= Aportes...			
Ap_SG_mult	Fuente constante	0, 0, 2022-03-11,V:...			
Ap_SG_tun_	Fuente producto	0, fuenteA= Aportes...			

Editor - SimSEE - v_ije133.267 (GPLv3, IIE-FING) - Sala_simplificada_proyectoBat.ese

Archivo Herramientas ? Idioma

Notas Variables Globales Fuentes Actores Archivos Estados Mantenimientos Monitores SimRes3 Simulador ?

Agregar Fuente Eliminar no usadas ?

Fuente	Tipo de fuente	Información adicional			
Cero	Fuente constante	0, 0, Auto, V:0			
Excedentes_precio	Fuente constante	0, 0, Auto, V:0.1			
Aportes_CMGA_rBr	Sintetizador CEGH	0,			
Uno	Fuente constante	0, 0, Auto, V:1			
factor_corr_WTI	Fuente constante	0, 0, Auto, V:1			
DEM_X3	Sintetizador CEGH	0,			
tendencia_WTI	Fuente constante	0, 0, Auto, V:1			
volatilidad_WTI_cegh	Sintetizador CEGH	0,			
sesgo_CVL_(restar)	Fuente constante	0, 0, Auto, V:0			
PSol1MW	Sintetizador CEGH	0,			
peolunitaria	Sintetizador CEGH	0,			
pot_upm2_horario	Sintetizador CEGH	0,			
pot_upm_ajustada	Fuente Operación Multi-Fuente	0, Auto: //La centr...			
precio_UPM2	Fuente constante	0, 0, Auto, V:0.01			
iPetroleo	Fuente Operación Multi-Fuente	0, "// USAR ESTO PA...			
iGO	Fuente de combinación	0, a= 0.9, fuenteA=...			
CMG_Br_Tendencia	Fuente constante	0, 0, Auto, V:13.88			
CMG_BR_S_CVMot	Fuente Operación Multi-Fuente	0, „ se pasa a va...			
Temp_media_CEGH	Fuente de combinación	0, a= 0.5, fuenteA=...			
penalizaciones	Fuente Operación Multi-Fuente	0, cvCTR_BASE := 30...			

→ Actores:

→ Red Eléctrica, Demanda, Eólica, Solar: Sin cambios.

→ Térmicas:

→ Se quitaron las que no se utilizaban

CC180	Generador térmico combinado				
TG60	Generador térmico básico				

→ Tanto en la ficha como en las unidades disponibles, a la primera línea se le modificó la fecha a “Auto”, para asegurar que siempre “exista” el actor.

→ En la ficha: Liderdat, UPM.

→ En las unidades disponibles: Arboreto, Bioener, CTR, Ciclo, Galofer, Liderdat, PTI_1-2, PTI_7-8, UPM.

Editando "Liderdat" Generador térmico básico

Nombre: Liderdat

Nodo: Montevideo

Fichas

Agregar Nueva Ficha Ver Periodicidad Expandida

Fecha de Inicio	Información adicional	Periodica?	Capa			
2024-01-29	PMax= 2.45 MW, cv= 2...	NO	0			

Editando "Liderdat" Generador térmico básico

Nombre: Liderdat

Nodo: Montevideo

Fichas

Agregar Nueva Ficha Ver Periodicidad Expandida

Fecha de Inicio	Información adicional	Periodica?	Capa			
Auto	PMax= 2.45 MW, cv= 2...	NO	0			

Editar Unidades Disponibles

Agregar Ficha Ver Expandida

Fecha de Inicio	Instaladas	En M.Prog.	Periodica?	Capa			
2023-09-23	[1]	[0]	NO	0			
2024-09-07	[1]	[1]	NO	0			
2024-09-28	[1]	[0]	NO	0			
2025-09-06	[1]	[1]	NO	0			
2025-09-27	[1]	[0]	NO	0			
2026-09-05	[1]	[1]	NO	0			
2026-09-26	[1]	[0]	NO	0			
2027-09-04	[1]	[1]	SI	0			
2027-09-25	[1]	[0]	SI	0			

Editar Unidades Disponibles

Agregar Ficha Ver Expandida

Fecha de Inicio	Instaladas	En M.Prog.	Periodica?	Capa			
Auto	[1]	[0]	NO	0			
2024-09-07	[1]	[1]	NO	0			
2024-09-28	[1]	[0]	NO	0			
2025-09-06	[1]	[1]	NO	0			
2025-09-27	[1]	[0]	NO	0			
2026-09-05	[1]	[1]	NO	0			
2026-09-27	[1]	[0]	NO	0			
2027-09-05	[1]	[1]	NO	0			
2027-09-27	[1]	[0]	NO	0			

→ Hidráulicas:

→ Tanto en la ficha como en las unidades disponibles, a la primera línea se le modificó la fecha a "Auto", para asegurar que siempre "exista" el actor.

→ En la ficha: Bonete, Palmar, SG.

→ En las unidades disponibles: Baygorria, Bonete, Palmar, SG.

→ Se modificaron los parámetros de los aportes, consecuencia de las fuentes eliminadas anteriormente.

→ Aplicado a: Bonete, Palmar y SG.

Editando "Bonete" Hidroeléctrica con embalse

Nombre: Bonete

Nodo: Montevideo

Estado inicial y valorización del agua.

Altura inicial [m]: 79.7 Error [m]: +/- 0

Discretización de la altura [cantidad de puntos]: 3

Parámetros de los aportes

Fuente: Ap_Bon_tun_

Borne: Borne

Editando "Bonete" Hidroeléctrica con embalse

Nombre: Bonete

Nodo: Montevideo

Estado inicial y valorización del agua.

Altura inicial [m]: 79.7 Error [m]: +/- 0

Discretización de la altura [cantidad de puntos]: 3

Parámetros de los aportes

Fuente: Aportes_CMGARBr

Borne: Bonete

→ Para el caso de Palmar y SG se activó el valorizado manual, debiendo además ingresar un Valor del agua (en todas las fichas correspondientes).

→ Valor del agua para Palmar: 30 USD/Hm³.

→ Valor del agua para SG: 5 USD/Hm³.

Editando "Palmar" Hidroeléctrica con embalse

Nombre: Palmar

Nodo: Montevideo

Estado inicial y valorización del agua.

Altura inicial [m]: 40 Error [m]: +/- 0

Discretización de la altura [cantidad de puntos]: 3

Parámetros de los aportes

Fuente: Aportes_CMGARBr

Borne: Bonete

Editando "Palmar" Hidroeléctrica con embalse

Nombre: Palmar

Nodo: Montevideo

Estado inicial y valorización del agua.

Altura inicial [m]: 40 Error [m]: +/- 0

Discretización de la altura [cantidad de puntos]: 3

Parámetros de los aportes

Fuente: Aportes_CMGARBr

Borne: Bonete

[illegible]

8.4. Criterio para la numeración de las capas

Los bancos de baterías a utilizar difieren en 3 aspectos:

1. Tipo de valorización (automática y manual).
2. Capacidad de cada banco (30 MW por 4hs y 60 MW por 2 hs).
3. Cantidad de unidades disponibles (1, 2 y 10).

Dada la cantidad de escenarios considerados, en cada uno de los cuales estos aspectos difieren, se optó por pre-establecer un criterio de numeración de las capas.

→ Criterio preestablecido:

→ Primer dígito: Tipo de valorización.

1 = Valorización automática.

2 = Valorización manual.

→ Segundo dígito: Capacidad del banco.

1 = Banco de 30 MW por 4 hs.

2 = Banco de 60 MW por 2 hs.

En las unidades disponibles va 0 (cero).

→ Tercer y cuarto dígito: Cantidad de unidades disponibles.

01 = 1 banco.

02 = 2 bancos.

10 = 10 bancos.

En la ficha va 00 (cero cero).

Siguiendo este criterio, se tabulan a continuación las capas que deben activarse para cada caso de banco de batería:

	Cada banco de 30 MW por 4 hs		Cada banco de 60 MW por 2 hs	
	Valorización automática	Valorización manual	Valorización automática	Valorización manual
1 banco	1100; 1001	2100; 2001	1200; 1001	2200; 2001
2 bancos	1100; 1002	2100; 2002	1200; 1002	2200; 2002
10 bancos	1100; 1010	2100; 2010	1200; 1010	2200; 2010

Para el caso del retiro de la Central Batlle del sistema, se consideró la capa número 3000 en la cual la misma tiene 0 (cero) unidades disponibles.

8.5. Creación de los bancos de baterías

8.5.1. Resumen

Viendo que entre el banco de valorización automática y el de valorización manual son muy pocos los parámetros que difieren, se creó uno de ellos y luego se lo duplicó, debiendo modificar solamente algunos parámetros.

Siguiendo el mismo razonamiento, entre el banco de 30 MW y el de 60 MW los únicos parámetros que difieren se configuran en la ficha, por lo que dentro del mismo banco se creó una ficha para uno de ellos, y luego se la duplicó y se le modificaron los parámetros necesarios.

En cuanto a la cantidad de bancos de baterías a incorporar al sistema, esto se trabajó desde las unidades disponibles, creando varias fichas dentro del propio actor.

De este modo, el resultado fue de 2 actores de la categoría “Internacional y Otros”, cada uno de los cuales cuenta con 2 fichas según las características del banco, y 4 fichas según las unidades disponibles (una corresponde a la capa 0, en la cual no hay baterías).

8.5.2. Detalle

→ Actores → Internacional y Otros → Agregar Actor → Banco de Baterías

→ Completar campos para el banco de valorización automática: Nombre, Nodo, Carga inicial, Número de discretizaciones.

Editar "BancoBaterias_ValorizacionAutomatica" Banco de Baterías

Nubeseable

Nombre: BancoBaterias_ValorizacionAutomatica

Nodo: Montevideo

Variables de estado:

Carga inicial [MWh]: 60 ☐ Valorizado manual

Número de discretizaciones: 3

Fichas

Agregar Nueva Ficha Ver Periodicidad Expandida

Fecha de Inicio	Información adicional	Periodica?	Capa			
Auto	0, Auto,	NO	0			
Auto	1100, Auto,	NO	1100			
Auto	1200, Auto,	NO	1200			

☒ Calcular gradiente de inversión
☒ Aplicar restricciones horarias iterando

Emisiones CO2

Ton-CO2/MWh: 0

☒ Low Cost Must Run
☐ Clean Development Mechanism

Índice de precios

Fuente: <Ninguna>

Borne:

Índice del valorizado manual.

Fuente: <Ninguna>

Borne:

Editar Unidades

Guardar Cancelar

→ Agregar Nueva Ficha, para el banco de 0 MW (el de la capa 0).

→ Completar todos los campos excepto los correspondientes a “valorizado manual”.

Editar ficha de "BancoBaterias_ValorizacionAutomatica" Banco de Baterías

Fecha:
Capa:

☐ Periódica?

Parámetros de una unidad del banco de baterías.

Parámetros para cálculo de degradación.

Capacidad máxima [MWh]:

Potencia máxima de descarga [MW]:

Rendimiento de descarga [p.u.]:

Potencia máxima de carga [MW]:

Rendimiento de carga [p.u.]:

Disponibilidad fortuita [p.u.]:

Tiempo medio de reparación [h]:

Auto-descarga 90% [días]:

Valorizado manual

Precio para compra [USD/MWh]:

Precio para venta [USD/MWh]:

Profundidad de descarga (1) [p.u.]:

Número de Ciclos (1):

Profundidad de descarga (2) [p.u.]:

Número de Ciclos (2):

Tasa descuento [p.u.]:

Costo recambio [USD/kWh-instalado]:

Años recambio:

Porción fija de degradación [p.u./año]:

Pago no considerado para el despacho.

Pago disponibilidad [USD/MWh-h]:

Guardar
Cancelar

→ Crear dos copias de la ficha ya creada, y modificar los campos correspondientes para el banco de 30 MW por 4 hs y para el de 60 MW por 2 hs.

→ Campos a modificar: Potencia máxima de descarga, Potencia máxima de carga, Pago por disponibilidad.

Capa:

Parámetros de una unidad del banco de baterías.

Capacidad máxima [MWh]:

Potencia máxima de descarga [MW]:

Rendimiento de descarga [p.u.]:

Potencia máxima de carga [MW]:

Rendimiento de carga [p.u.]:

Pago no considerado para el despacho.

Pago disponibilidad [USD/MWh-h]:

Capa: 1200

Parámetros de una unidad del banco de baterías.

Capacidad máxima [MWh]: 120

Potencia máxima de descarga [MW]: 60

Rendimiento de descarga [p.u.]: 0.9

Potencia máxima de carga [MW]: 60

Rendimiento de carga [p.u.]: 0.9

Pago no considerado para el despacho.

Pago disponibilidad [USD/MWh-h]: 5.33

→ Editar Unidades → Crear diferentes fichas, según la cantidad de unidades disponibles.

Campos a completar: Capa, Unidades instaladas.

Editar unidades de BancoBaterias_ValorizacionAutomatica

Fecha: Auto Capa: 1001

☐ Periódica?

Unidades instaladas: 1 En mantenimiento programado: 0 ☐ Alta incierta ☐ Inicio crónica incierto ?

Guardar Cancelar

Editar Unidades Disponibles

Agregar Ficha Ver Expandida ?

Fecha de Inicio	Instaladas	En M.Prog.	Periodica?	Capa			
Auto	[0]	[0]	NO	0			
Auto	[1]	[0]	NO	1001			
Auto	[2]	[0]	NO	1002			
Auto	[10]	[0]	NO	1010			

→ Duplicar el banco, y modificar los campos correspondientes.

→ Campos a modificar:

- En el nombre, cambiar la palabra “Automatica” por “manual”.
- Tildar el “Valorizado manual”.

 Editando "BancoBaterias_ValorizacionManual" Banco de Baterías

 Nubeseable

Nombre:

Nodo:

Variables de estado:

Carga inicial [MWh]: ☒ Valorizado manual

Número de discretizaciones:

→ En todas las fichas, completar los campos correspondientes a “valorizado manual”.

Valorizado manual

Precio para compra [USD/MWh]:

Precio para venta [USD/MWh]:

→ En el número de capa, tanto de las fichas como de las unidades disponibles, cambiar el primer dígito de 1 por 2.

Fichas

Agregar Nueva Ficha Ver Periodicidad Expandida

Fecha de Inicio	Información adicional	Periodica?	Capa			
Auto	0, Auto,	NO	0			
Auto	2100, Auto,	NO	2100			
Auto	2200, Auto,	NO	2200			

 Editar Unidades Disponibles

Agregar Ficha Ver Expandida ?

Fecha de Inicio	Instaladas	En M.Prog.	Periodica?	Capa			
Auto	[0]	[0]	NO	0			
Auto	[1]	[0]	NO	2001			
Auto	[2]	[0]	NO	2002			
Auto	[10]	[0]	NO	2010			

8.6. Creación de plantilla SimRes3

→ SimRes3 → Crear Nueva

→ Índices (seleccionar las variables que queremos observar de nuestro sistema)

Índices	Variables Crónicas	Operaciones Crónicas	Post Operaciones	Impresión de Variables Crónicas	Ejecutar	?
Nombre	Actor	Variable	Número de SimRes			
idx_Monteideo_cmg	Monteideo	cmg	1			
idx_Monteideo_cmg_P1	Monteideo	cmg_P1	1			
idx_Monteideo_cmg_P2	Monteideo	cmg_P2	1			
idx_Monteideo_cmg_P3	Monteideo	cmg_P3	1			
idx_Monteideo_cmg_P4	Monteideo	cmg_P4	1			
idx_Demanda_P	Demanda	P	1			
idx_Demanda_PD	Demanda	PD	1			
idx_Dem_Nuevos_Consumos_Planos_P	Dem_Nuevos_Consumos_Planos	P	1			
idx_Dem_Nuevos_Consumos_Planos_PD	Dem_Nuevos_Consumos_Planos	PD	1			
idx_Alur_P	Alur	P	1			
idx_Amp_Biomasa_P	Amp_Biomasa	P	1			
idx_Arboreto_P	Arboreto	P	1			
idx_Baygorria_P	Baygorria	P	1			
idx_Bioener_P	Bioener	P	1			
idx_Bonete_P	Bonete	P	1			
idx_CTR_P	CTR	P	1			
idx_Ciclo_P	Ciclo	P	1			
idx_Dank_P	Dank	P	1			
idx_Fenirol_P	Fenirol	P	1			
idx_Galofer_P	Galofer	P	1			
idx_Las_Rosas_P	Las_Rosas	P	1			
idx_Liderdat_P	Liderdat	P	1			
idx_Lumiganor_P	Lumiganor	P	1			
idx_Montes_del_Plata_P	Montes_del_Plata	P	1			
idx_PTI_1-6_P	PTI_1-6	P	1			
idx_PTI_7-8_P	PTI_7-8	P	1			
idx_Palmar_P	Palmar	P	1			
idx_SG_P	SG	P	1			
idx_UPM_P	UPM	P	1			
idx_UPM2_P	UPM2	P	1			
idx_Uruply_P	Uruply	P	1			
idx_Zenda_GN_P	Zenda_GN	P	1			
idx_eolica_amp_P	eolica_amp	P	1			
idx_solar_amp_P	solar_amp	P	1			
idx_Motores_P	Motores	P	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica_PGen	BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica	PGen	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica_PDem	BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica	PDem	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONAutomaticas_X_Carga	BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica	X_Carga	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica_cv_Spot	BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica	cv_Spot	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica_cvDegDem	BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica	cvDegDem	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica_cvDegGen	BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica	cvDegGen	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica_GradInv	BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica	GradInv	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica_PorcionDegradaDelPaso	BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica	PorcionDegradaDelPaso	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica_Ingreso_PorDisponibilidad	BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica	Ingreso_PorDisponibilidad	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica_Ingreso_PorEnergia	BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica	Ingreso_PorEnergia	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica_ValorDeEnergiaCompradaAlMarginal	BancoBaterias_ValORIZACIONAutomatica	ValorDeEnergiaCompradaAlMarginal	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONManual_PGen	BancoBaterias_ValORIZACIONManual	PGen	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONManual_PDem	BancoBaterias_ValORIZACIONManual	PDem	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONManual_X_Carga	BancoBaterias_ValORIZACIONManual	X_Carga	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONManual_cv_Spot	BancoBaterias_ValORIZACIONManual	cv_Spot	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONManual_cvDegDem	BancoBaterias_ValORIZACIONManual	cvDegDem	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONManual_cvDegGen	BancoBaterias_ValORIZACIONManual	cvDegGen	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONManual_GradInv	BancoBaterias_ValORIZACIONManual	GradInv	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONManual_PorcionDegradaDelPaso	BancoBaterias_ValORIZACIONManual	PorcionDegradaDelPaso	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONManual_Ingreso_PorDisponibilidad	BancoBaterias_ValORIZACIONManual	Ingreso_PorDisponibilidad	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONManual_Ingreso_PorEnergia	BancoBaterias_ValORIZACIONManual	Ingreso_PorEnergia	1			
idx_BancoBaterias_ValORIZACIONManual_ValorDeEnergiaCompradaAlMarginal	BancoBaterias_ValORIZACIONManual	ValorDeEnergiaCompradaAlMarginal	1			

→ Variables crónicas → Agregar Variable Crónica

Índices	Variables Crónicas	Operaciones Crónicas	Post Operaciones	Impresión de Variables Crónicas	Ejecutar	?
Agregar variable crónica						
Nombre						
cmg						
cmg_P1						
cmg_P2						
cmg_P3						
cmg_P4						
P_Dem						
P_Hid						
P_Bio						
P_Ter						
P_Eol						
P_Sol						
P_Bat_Dem						
P_Bat_Gen						
P_Falla						
X_Bat						
P_Motores						
deg_prom						
deg_acum						
pago_disp_prom						
pago_disp_acum						
E_vendida_prom						
E_comprada_prom						
Val_EComprada_prom						
Val_EVendida_prom						
Val_EComprada_acum						
Val_EVendida_acum						
Val_ganancia_acum						
Val_EComprada_cmg_prom						
Val_EComprada_cmg_acum						
inv_cmg_compra						
inv_cmg_venta						
cte_1						
Grad_inver						
Acum_Grad_inver						

→ Operaciones Crónicas → Agregar Operación Crónica

Índices	Variables Crónicas	Operaciones Crónicas	Post Operaciones	Impresión de Variables Crónicas	Ejecutar	?
						
Tipo de operación	Resultados	Parámetros índice	Parámetros adicionales			
promedioPonderadoPorDurpos	cmg	idx_Montevideo_cmg	-			
promedioPonderadoConDurpos_m	P_Dem	idx_Demanda_PD, idx_Dem_Nuevos_Consum...	-			
promedioPonderadoConDurpos_m	P_Falla	idx_Demanda_P, idx_Demanda_PD, idx_De...	-			
promedioPonderadoConDurpos_m	P_Hid	idx_Baygorria_P, idx_Bonete_P, idx_Pa...	-			
promedioPonderadoConDurpos_m	P_Bio	idx_Alur_P, idx_Amp_Biomasa_P, idx_Ar...	-			
promedioPonderadoConDurpos_m	P_Eol	idx_eolica_amp_P	-			
promedioPonderadoConDurpos_m	P_Ter	idx_CTR_P, idx_Ciclo_P, idx_Liderdat_...	-			
promedioPonderadoConDurpos_m	P_Sol	idx_solar_amp_P	-			
promedioPonderadoPorDurpos	P_Motores	idx_Motores_P	-			
promedioPonderadoConDurpos_m	P_Bat_Dem	idx_BancoBaterias_ValORIZACIONAutomat...	-			
promedioPonderadoConDurpos_m	P_Bat_Gen	idx_BancoBaterias_ValORIZACIONAutomat...	-			
promedioPonderadoConDurpos_m	X_Bat	idx_BancoBateria_ValORIZACIONAutomati...	-			
suma_m	deg_prom	idx_BancoBaterias_ValORIZACIONAutomat...	-			
suma_m	pago_disp_prom	idx_BancoBaterias_ValORIZACIONAutomat...	-			
sumaProductoConDurpos_m	E_vendida_prom	idx_BancoBaterias_ValORIZACIONAutomat...	-			
sumaProductoConDurpos_m	E_comprada_prom	idx_BancoBaterias_ValORIZACIONAutomat...	-			
sumaDobleProductoConDurposTopeado_m	Val_EComprada_prom	idx_Montevideo_cmg, idx_BancoBaterias...	TopeDe2= 240			
sumaDobleProductoConDurposTopeado_m	Val_EVendida_prom	idx_Montevideo_cmg, idx_BancoBaterias...	TopeDe2= 240			
suma_m	Val_EComprada_cmg_prom	idx_BancoBaterias_ValORIZACIONAutomat...	-			
suma	cmg_P1	idx_Montevideo_cmg_P1	-			
suma	cmg_P2	idx_Montevideo_cmg_P2	-			
suma	cmg_P3	idx_Montevideo_cmg_P3	-			
suma	cmg_P4	idx_Montevideo_cmg_P4	-			
suma_m	Grad_inver	idx_BancoBaterias_ValORIZACIONAutomat...	-			

→ Post Operaciones → Agregar Post Operación

Índices	Variables Crónicas	Operaciones Crónicas	Post Operaciones	Impresión de Variables Crónicas	Ejecutar	?
						
Tipo de operación	Resultados	Parámetros variables crónicas	Parámetros adicionales			
CrearConstareal	cte_1		aReal= 1			
acumularCronVar	deg_acum	deg_prom	-			
cronVarPorReal	pago_disp_prom	pago_disp_prom	aReal= 1E-6			
acumularCronVar	pago_disp_acum	pago_disp_prom	-			
cronVarPorReal	Val_EComprada_prom	Val_EComprada_prom	aReal= 1E-6			
cronVarPorReal	Val_EVendida_prom	Val_EVendida_prom	aReal= 1E-6			
acumularCronVar	Val_EComprada_acum	Val_EComprada_prom	-			
acumularCronVar	Val_EVendida_acum	Val_EVendida_prom	-			
restaCronVars	Val_ganancia_acum	Val_EVendida_acum, Val_EComprada_acum	-			
acumularCronVar	Val_EComprada_cmg_acum	Val_EComprada_cmg_prom	-			
acumularCronVar	Acum_Grad_inver	Grad_inver	-			

→ Impresión de Variables Crónicas → Agregar impresión de variable crónica

Índices	Variables Crónicas	Operaciones Crónicas	Post Operaciones	Impresión de Variables Crónicas	Ejecutar ?					
Agregar impresión de variable crónica 🔍										
Tipo	Variable crónica	Hoja	Título	Parámetros adicionales						
CompararValoresMultiplesCronVars	P_Dem, P_Bat_Dem, P_Bio, P_Sol, P_Eol...	Potencia	Potencia media	Valores a Comparar= prom, Graficar= si						
CompararValoresMultiplesCronVars	X_Bat, P_Bat_Gen, P_Bat_Dem	Bateria	Flujo Carga Bateria	Valores a Comparar= prom, Graficar= si						
histograma	deg_acum	Degracion	Degradación acumulada	Imprimir Promedio= SI, Graficar= SI, ...						
histograma	pago_disp_acum	pago_disp_acum	Pago por disponibilidad acumulado	Imprimir Promedio= SI, Graficar= SI, ...						
CompararValoresMultiplesCronVars	Val_ganancia_acum, Val_EComprada_acum...	Valorizacion	Valorización energía (SPOT)	Valores a Comparar= prom, Graficar= si						
histograma	X_Bat	X_Bat	Estado de carga batería	Imprimir Promedio= SI, Graficar= SI, ...						
histograma	cmg	cmg_uy	Costo Marginal	Imprimir Promedio= SI, Graficar= SI, ...						
CompararValoresMultiplesCronVars	cmg_P1, cmg_P2, cmg_P3, cmg_P4	cmg_postes	Costo marginal por poste	Valores a Comparar= prom, Graficar= si						
CompararValoresMultiplesCronVars	E_vendida_prom, E_comprada_prom, Val_...	InversoValorComVen	Inverso del precio de compra y venta	Valores a Comparar= prom, Graficar= si						
histograma	Acum_Grad_inver	Acum_Grad_inver	Gradiente de inversión	Imprimir Promedio= SI, Graficar= SI, ...						

→ Guardar

→ Archivo → Guardar

→ Nombre: *Proyecto2024.sr3*

→ Cruz (Cerrar)

→ Archivo → Guardar

9. Anexo 3: Detalle de los escenarios corridos

Nº de corrida	Cantidad de bancos	Capacidad de la batería	Tipo de valorización de los bancos	Adicional	Capas activas
1	0	No aplica	No aplica	Optimización Sem: 40031 / Crón: 5 Simulación Sem: 10031 / Crón: 752	0
2	1	30 MW por 4 hs	Automática	Optimización Sem: 40031 / Crón: 5 Simulación Sem: 10031 / Crón: 752	0; 1100; 1001
3	1	60 MW por 2 hs	Automática	Optimización Sem: 40031 / Crón: 5 Simulación Sem: 10031 / Crón: 752	0; 1200; 1001

Para evaluar cuál de los dos bancos resultaba más conveniente:

	Corrida 2	Corrida 3
Valorización energía (SPOT) acumulado (MU\$S)	1,89	2,01
Pago por disponibilidad acumulado (MU\$S)	5,73	6,24
Ganancia total (MU\$S)	-3,84	-4,23

Conclusión: Ambos proyectos dan pérdidas pero optamos por baterías de 30 MW por 4 hs, ya que es el que menos pérdidas trae.

Nº de corrida	Cantidad de bancos	Capacidad de la batería	Tipo de valorización de los bancos	Adicional	Capas activas
4	1	30 MW por 4 hs	Manual Compra = 50 Venta = 120	Optimización Sem: 40031 / Crón: 5 Simulación Sem: 10031 / Crón: 752	0; 2100; 2001

Con 1 bancos de baterías con valorización manual, el resultado fue que el proyecto obtiene menos ganancias.

	Corrida 4
Valorización energía (SPOT) acumulado (MU\$S)	1,69
Pago por disponibilidad acumulado (MU\$S)	5,74
Ganancia total (MU\$S)	-4,05

Conclusión: La valorización automática es mejor desde el punto de vista económico que la manual

Nº de corrida	Cantidad de bancos	Capacidad de la batería	Tipo de valorización de los bancos	Adicional	Capas activas
5	2	30 MW por 4 hs	Automática	Optimización Sem: 40031 / Crón: 5 Simulación Sem: 10031 / Crón: 752	0; 1100; 1002

Con dos bancos de baterías da mas perdida, lo que tiene sentido, ya que si un banco da pérdidas, el segundo también. Y se tiene aproximadamente el doble de pérdidas que para un solo banco.

	Corrida 5
Valorización energía (SPOT) acumulado (MU\$S)	3,55
Pago por disponibilidad acumulado (MU\$S)	11,48
Ganancia total (MU\$S)	-7,93

Conclusión: Instalar un segundo banco solo empeora las cosas, se tienen el doble de pérdidas.

Nº de corrida	Cantidad de bancos	Capacidad de la batería	Tipo de valorización de los bancos	Adicional	Capas activas
6	1	30 MW por 4 hs	Automática	Sin Central Battle Optimización Sem: 40031 / Crón: 5 Simulación Sem: 10031 / Crón: 752	0; 1100; 1001; 3000

Con la instalación del banco de baterías pero sin los motores de la Central Batlle se observa que mejora por muy poco, se sigue teniendo perdidas pero son un poco menores.

	Corrida 6
Valorización energía (SPOT) acumulado (MU\$S)	1,98
Pago por disponibilidad acumulado (MU\$S)	5,73
Ganancia total (MU\$S)	-3,76

Conclusión: Con esto se observa que los motores de la Central Batlle eran más un competidor por el mercado con el banco de baterías.

Nº de corrida	Cantidad de bancos	Capacidad de la batería	Tipo de valorización de los bancos	Adicional	Capas activas
	2	60 MW por 2 hs	Automática		0; 1200; 1002
	0	Mismo escenario que la corrida N°1, pero con lo de las semillas			
	10	Mismo escenario que la corrida N°5, pero con lo de las semillas			

10. Anexo 4: Análisis de precisión

Para el análisis de la precisión del método por variación de semillas de simulación y la estimación de la cantidad de crónicas necesarias para obtener una precisión en la determinación del valor esperado, de 3% del rango con confianza 90% el CF_VE se usó fórmula:

$$N > p(1 - p) \left(\frac{\text{Área}}{\epsilon} \right)^2$$

donde:

N=? → Número de semillas de simulación.

p=0.5 → Peor de los casos

Área= 1,64485362695147 → área de distribución normal para 5/100

ε= 0.03 → Error máximo admitido

Cálculo:

$$N > p(1 - p) \left(\frac{\text{Área}}{\epsilon} \right)^2$$

$$N > 0.5(1 - 0.5)\left(\frac{1,64485362695147}{0.03}\right)^2$$
$$N > 751.53$$

Con esto se establece que el menor número de semillas de simulación necesarias para obtener un error máximo de 3% del rango con una confianza del 90% es de 752 semillas. Por esta razón se realizaron simulaciones con la limitante de que el mínimo de cantidad de semillas fuera de 752.