

Control de Cotas.

Autores: Agustín Alvarez

Jesús Eugui

Carolina Rodriguez

Nicolas Yedrzejewski

Instituto de Ingeniería Eléctrica - FING.

Trabajo final curso SimSEE edición 2023
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.

Contenido

1	Glosario.....	4
2	Objetivo.....	4
3	Introducción.....	4
4	Hipótesis de trabajo.....	5
5	Metodología.....	7
5.1	Desarrollo general.....	7
5.1	Cálculo del BPS	7
6	Procesamiento de datos en SimRes3.....	9
6.2	Cálculo del BPS de cada tecnología.....	9
6.2.1	Eólica, Solar y Biomasa.....	10
6.2.2	Hidráulica y térmicas.....	10
6.3	Cálculo del CAD.....	12
6.4	Cálculo de la “valorización de la demanda al Marginal”	13
7	Resultados.....	14
7.1	Penalizaciones obtenidas.....	14
7.2	Resultados para el cálculo del CAD.....	16
7.3	Resultados para el Beneficio por Sustitución.....	17
7.4	Valorización de la demanda al marginal.....	18
7.5	Comparativa de los tres casos.....	20
7.5.1	CAD.....	20
7.5.2	Beneficio Por Sustitución.....	21
7.5.3	Costo Marginal.....	22
7.5.4	Valor del agua.....	23
8	Conclusiones.....	25
9	Anexo.....	26
9.1	Información complementaria del BPS.....	26
9.1.1	Calculo del valor de agua de Bonete.....	26
9.1.2	Gráficos comparativos del BPS por tecnología y escenario.....	26
9.1.3	Gráficos del BPS por escenario y tope del marginal.....	29
9.2	Información adicional del CMG.....	37
9.3	Gráficas del valor del agua.....	39
9.3.1	Escenario sin penalidades (0-0-0).....	39
9.3.2	Escenario base (100-100-100).....	40

9.3.3	Escenario penalidad calibrada (150-210-500).....	42
9.4	Generación por fuente.....	43

1 Glosario

CAD: Costo de abastecimiento de la demanda

BPS: Beneficio por sustitución

CMG: Costo marginal

CEGH: Correlaciones en Espacio Gaussiano con Histogramas.

2 Objetivo

El trabajo consiste en calibrar las penalidades asociadas al control de cota inferior en los lagos de Bonete, Palmar y Salto Grande de manera de lograr un ajuste que reduzca a no más de 1% la probabilidad de alcanzar las cotas mínimas establecidas. Para ello se utilizará la Sala VATES MP de ADME extendiendo el horizonte a 1 año.

Adicionalmente, se analizará la afectación en la distribución del Costo de Abastecimiento de la Demanda (CAD) y del Beneficio Por Sustitución (BPS) de las diferentes tecnologías, comparando entre los ajustes encontrados y el ajuste actual.

3 Introducción

Existen consignas de operación que no se pueden modelar como restricciones rígidas. Un ejemplo es el caso en que no se quiere subir de una cota máxima en una central hidroeléctrica con el fin de evitar una inundación en alguna zona particular. Esta condición no se podría asegurar en un escenario extremo de lluvias, por ejemplo. Este tipo de restricciones se pueden cumplir mientras se puede y no siempre que se quiere pues no habría solución matemática al problema de optimización porque el despacho no sería factible. Para salvar este problema, este tipo de restricciones se modelan introduciendo un costo económico ficticio que penaliza la violación de la condición que se quiere imponer. Le denominamos ficticio porque no es un costo real en el que se esté incurriendo, sino que se utiliza para generar un sesgo en la optimización para cumplir con la condición deseada. Un ejemplo de costos ficticios dentro del SimSEE son los costos asociados a las penalidades por violaciones de cota máxima o mínima en las centrales hidroeléctricas.

4 Hipótesis de trabajo

Generalidades de la Sala:

La sala utilizada para el presente estudio parte de la sala Vates MP de paso diario del día 02/05/2023 con algunas simplificaciones. Tanto el período de simulación como de optimización es de 1 año comprendido entre el 02/05/2023 al 02/05/2024. Para el caso de optimización se corren 5 crónicas con la semilla 40031 y para la simulación se corren 1000 crónicas con la semilla 10031. La sala cuenta con 4 postes de 1, 4, 13 y 6 horas de duración. La misma se engancha con el costo futuro de la PES de mayo/2023. La versión de SimSEE utilizada fue 113_249.

Centrales Hidráulicas:

Se modelan 4 Centrales Hidráulicas (Bonete, Baygorria, Palmar y Salto Grande). Con una Potencia instalada de 1.541 MW. Para modelar los aportes se utiliza un CEGH que correlaciona los aportes de Bonete, Palmar y Salto con el índice del niño (IN34).

Bonete, Palmar y Salto se consideran como centrales con embalse mientras que Baygorria es de paso. Adicionalmente la Central Bonete es tratada como una Central encadenada (esta característica a la hora de calcular el valor del agua nos obliga a darle un tratamiento diferenciado respecto a las demás centrales).

Para las 3 centrales Bonete, Palmar y Salto Grande se bajaron a 3 el número de discretizaciones del lago respecto a lo que contenía originalmente la sala.

A continuación, se presenta cuadro con las cotas mínimas de operación y cota de inicio (real) para cada Central:

Central	Cota Inicio (m)	Cota Mínima de operación
Bonete	73,6	72,30
Palmar	37,12	37,0
Salto Grande	32,858	32,0

Cabe destacar del cuadro anterior que las cotas de inicio que presentan las Centrales son claves para los resultados obtenidos, las mismas denotan una situación de sequía severa para el sistema.

En cuanto a erogados mínimos de las centrales, Bonete presenta un erogado mínimo con falla de 80 m³/s con penalidades establecidas para los años 2023 y 2024 de 0,24 MUSD/hm³ y 0,31 MUSD/hm³ respectivamente. Palmar modela un erogado mínimo a causa de los peces desde el 1 de diciembre al 31 de marzo por 120m³/s y el erogado mínimo de Salto Grande se debe a la navegabilidad con 375 m³/s desde el 11 de enero de 2023 y 450m³/s desde el 12 de mayo de 2023.

Eólica y Solar:

La generación eólica cuenta con 1477 MW instalados mientras que la solar con 238 MW. En el caso de la generación solar se modela la entrada de un parque generador de 27 MW a partir de noviembre 2023. Las potencias de éstos recursos se modelan a partir de un CEGH y debido a que su costo es 0, se despachan a la base lo cual repercute en que tomando distintos escenarios la energía que se despacha de Eólica y solar siempre será la misma (considerando que la demanda no cambia).

Biomasa:

La biomasa tiene unos 187 MW instalados con ingreso de 220 MW adicionales a partir del 02/05/2023 de acuerdo a la siguiente tabla correspondiente a UPM2.

Desde	Hasta	f.d	MW
02/05/2023	19/05/2023	0,3	180
20/05/2023	30/06/2023	0,64	180
01/07/2023	30/09/2023	0,68	190
01/10/2023	31/03/2024	0,77	190
01/04/2024	31/03/2025	0,78	220
01/04/2025		0,97	220

Hasta el 31/07/2023 se modela como indisponible UPM1 con 15 MW.

Térmicas:

Dentro de las máquinas térmicas se encuentran instalados 1.122 MW provenientes de turbinas a gasoil, fuel oil motores, ciclo combinado.

Particularmente los Motores se encuentran representados como una importación con el objetivo de poder captar la indisponibilidad de 23 a 6 de la mañana.

Demanda:

Se modela con una CEGH (que toma en cuenta una proyección anual para 2023-11.816 GWh y 2024-12.108 GWh) más una demanda plana con la siguiente configuración:

MW	DESDE	HASTA
45	15/04/2023	30/06/2023
67,5	01/07/2023	14/07/2023
90	15/07/2023	31/07/2023
45	01/08/2023	31/12/2023
100	01/01/2024	31/12/2024

5 Metodología

5.1 Desarrollo general

El trabajo se desarrollará en distintas etapas que se detallan a continuación:

1. Extender el horizonte de la sala MP de ADME a un año para utilizarla en el resto de las etapas siguientes.
2. Correr una simulación, de 1000 crónicas, eliminando las penalizaciones por violación de la cota inferior de los embalses y obtener con qué probabilidad de excedencia se llega al valor de cota mínima de operación en cada central, el CAD y el BPS de las diferentes tecnologías. Los resultados obtenidos de este escenario sirven como referencia para poder evaluar el efecto de las penalizaciones.
3. Correr una simulación de 1000 crónicas, con los ajustes de penalización actuales y obtener con qué probabilidad de excedencia se llega al valor de cota mínima de operación en cada central, el CAD y el BPS de las diferentes tecnologías. Los resultados obtenidos de este escenario sirven para conocer el desempeño de la situación actual.
4. Correr simulaciones variando la penalización por violación de la cota inferior de los embalses de manera de lograr un ajuste que reduzca a no más 1% la probabilidad de alcanzar la cota mínima de operación. Una vez logrado el ajuste buscado, se evaluará el CAD y el BPS.

5.1 Cálculo del BPS

El objetivo es analizar cómo afectan las penalidades por controles de cota al BPS de cada tecnología. En un mercado marginalista perfecto, en el equilibrio óptimo de inversiones, la visión del Generador coincide con la visión del óptimo sistema. Por lo tanto, si bien el análisis que se realiza en este trabajo tiene un enfoque del beneficio económico mirado desde el lado del generador, al mismo tiempo se está analizando la alteración al equilibrio del óptimo global del sistema.

Estas alteraciones introducidas por las penalidades no deben verse como una distorsión negativa del funcionamiento óptimo del sistema porque tratan de compensar la omisión que tiene el modelado del sistema a la hora de contemplar una restricción. Esa restricción consiste en asegurar una cantidad de energía embalsada suficiente que asegure la capacidad de arrancar las centrales hidráulicas en negro ante el eventual colapso del sistema eléctrico.

En este sentido, en un mercado marginalista, el beneficio neto que recibe cada generador se calcula como la energía inyectada al sistema valorizada a la diferencia entre el costo marginal del sistema menos el costo variable de su producción, $BPS = E^* (cmg - cv)$. En aquellas tecnologías con costo variable nulo, el valor del BPS coincide con el valor que el sistema le da a la energía.

En el caso de la generación hidráulica, la fuente primaria que es el agua no tiene un costo explícito pero las centrales tienen un embalse. De manera que existe la capacidad de almacenar el recurso y tener la posibilidad de decidir cuándo gastarlo (lo que vendo hoy lo gaste, es agua que no vendo mañana). Lo que se hace es asignar para el presente, al último hectómetro cúbico de agua embalsado, un valor igual al del costo variable del generador que va a sustituir marginalmente en el futuro (al agua se le asigna ese valor como resultado de la optimización).

En la hipótesis de que el hidráulico este librado al mercado marginalista, es justo que declare un costo variable igual al obtenido de la optimización, de manera que en cualquier momento que salga despachado, se asegura de percibir un ingreso igual al que se va a dejar de percibir en el futuro por haberse gastado el agua en el presente.

Con lo cual se puede asumir que para calcular el BPS de la generación hidráulica se utilice el costo variable obtenido de la optimización dándole un tratamiento igual que a un generador térmico. El BPS, calculado así, refleja la capacidad de captar beneficios por el generador hidráulico.

6 **Procesamiento de datos en SimRes3**

En este capítulo se muestran las operaciones entre las variables que resultan de las simulaciones realizadas y los gráficos utilizados para la presentación de los resultados.

Para la obtención de determinados resultados sólo alcanzó con asociar el índice publicado por los actores con la Variable correspondiente mediante una *Operación Crónica*, dependiendo si la publicación era por poste o por paso. Entre éstos resultados encontramos: Cotas de las Centrales Hidroeléctricas, Costo Marginal del nodo, Aportes de las Centrales hidroeléctricas, valores del agua para Palmar y Salto Grande, costo del paso directo de la sala.

Para el cálculo específico del BPS y CAD fueron necesarias otras *Post Operaciones* que se detallan a continuación

6.1 **Cálculo del BPS de cada tecnología**

El cálculo del BPS se hizo por grupo de generadores, discriminando según la fuente primaria de energía, a saber: Eólica, Solar, Biomasa, Hidráulica y Térmica.

A continuación, se enumeran las centrales involucradas en cada grupo:

- Solar
 - Abril, Albisu, Alto Cielo, Arapey Solar, Asahi, Casalko, Del Litoral, Dicano, El Naranjal, Fenima, La Jacinta, Menafra Solar, Miem UTE, Natelu, Petilcoran, PTI UTE, Raditon, TS, Vingano, Yarnel
- Biomasa
 - Alur, Amp_Biomasa, Arboreto, Bioener, Dank, Fenirol, Galofer, Las Rosas, Liderdat, Lumiganor, Montes del Plata, UPM, UPM2, Uruply, Zenda_GN
- Hidráulica
 - Salto Grande, Palmar, Bonete y Baygorria.
- Térmica
 - PTA, PTA 7y8, PTB (ciclo combinado), Motores CB y CTR .
- Eólica
 - 18 de Julio, ARIAS, Caracoles 1, Caracoles 2, Corfrisa, Cuchilla del Peralta I, ENGRAW, Juan Pablo Terra, Julieta, Luz de Loma, Luz de Mar, Luz de Rio, Maria Luz, Marystay, Melowind, Minas I, Nuevo Manantial Central 2, Nuevo Pastorage I, Palomas, Pampa, Parque Cerro Grande, Parque Eólico Artilleros, Parque Eólico Carape I, Parque Eólico Carape II, Parque Eólico Florida I, Parque Eólico Florida II, Parque Eólico Kiyu, Parque Eólico Libertad, Parque Eólico Loma Alta Central 1, Parque Eólico Magdalena, Parque Eólico Maldonado, Parque Eólico Maldonado II, Peralta 1 GCEE, Peralta 2 GCEE, Rosario, Santa Fe, Solís de Mataojo, Talas de Maciel I, Talas del Maciel II, Valentines, Ventus 1, Villa Rodriguez

6.1.1 Eólica, Solar y Biomasa

En nuestro país, los generadores de este tipo de fuente tienen asignado un costo variable nulo para definir el despacho. Por este motivo, el cálculo del BPS para cada fuente se realiza de la siguiente manera.

$$BPS = \sum_h \sum_i \sum_j E_{ijh} * CMG_{ih}$$

Donde

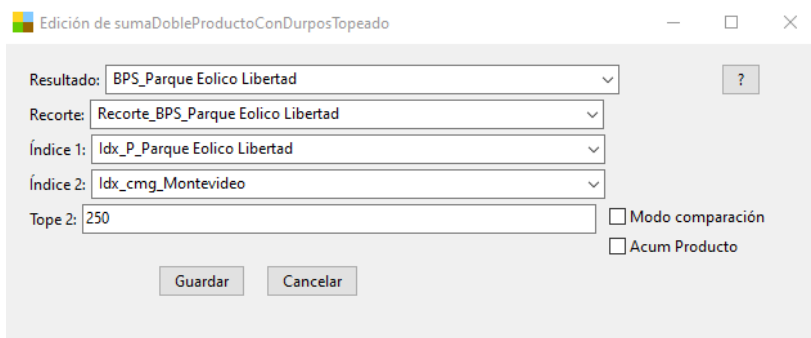
E_{ij} : Energía producida en el paso i por el generador j

CMG_{ih} : Costo marginal del paso i en el poste h

i : paso de tiempo de la simulación j : generadores pertenecientes al grupo correspondiente h : poste del paso i

Debido a que el precio spot en nuestro país se encuentra topeado en 250 USD/MWh, mostraremos como repercute este tope en los resultados.

Para reproducir los cálculos en el SimRes 3 utilizamos la operación crónica “sumaDobleProductoConDurposTopeado” el cual permite multiplicar dos índices poste a poste y sumar de acuerdo a la duración del poste. Así mismo se puede topear un índice, en este caso el cmg a 250 e ir guardando esas diferencias. De esta manera con el cmg y la potencia obtenemos el BPS y las diferencias que surgen de tener el spot en 250 USD/Mwh.



6.1.2 Hidráulica y térmicas

En el caso de las Hidráulicas y térmicas para obtener el BPS tendremos que restarle el costo variable.

$$BPS = \sum_h \sum_i \sum_j E_{ijh} * (CMG_{ih} - CV_{ij})$$

Donde

E_{ijh} : Energía producida en el posteh del paso i por el generador j

CMG_{ih} : Costo marginal del paso i en el poste h

CV_{ij} : Costo variable del generador j en el paso i

i : paso de tiempo de la simulación j : generadores pertenecientes al grupo correspondiente h : poste del paso i

Para el cálculo del BPS en éstos grupos generadores se deben realizar distintas etapas:

1. Se calcula la Energía valorada al cmg y se guarda la diferencia generada con el tope de 250, para ello se utiliza la operación crónica sumaDobleProductoConDurposTopeado”.

sumaDobleProductoConDurposTopeado	E*SPOT_Bonete, Recorte_Bonete	Idx_P_Bonete, Idx_cmg_Monteideo	TopeDe2= 250
sumaDobleProductoConDurposTopeado	E*cmg250_Motores, recorte motores	Idx_P_Motores, Idx_cmg_Monteideo	TopeDe2= 250

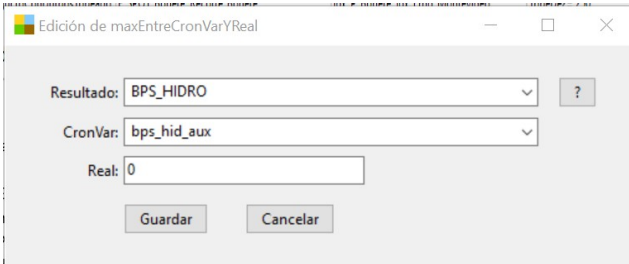
2. Calcularla energía valorada al cv.

1.1. En el caso de los térmico los actores publican el índice “costo”, cuyo resultado es el de multiplicar la Energía por el cv.

1.2. Para las Centrales hidráulicas debemos multiplicar las energías por los valores de agua de cada Central, donde el valor de agua en USD/MWh para Palmar y Salto Grande vienen dados por los actores, para Bonete se calcula el valor de acuerdo a que es una central encadena (ver 9.1.1) y a Baygorria se le asignó el valor de Bonete.

2. Finalmente, a la energía valorada al costo marginal le restamos la energía valorada al cv teniendo presente el tope del precio spot.

Para el caso en que el cv supera al cmg por forzamientos tanto hidráulico como térmico se utilizó la postoperación crónica *maxEntreCronVarYReal* de modo de filtrar los valores negativos.



Edición de maxEntreCronVarYReal

Resultado: BPS_HIDRO

CronVar: bps_hid_aux

Real: 0

Guardar Cancelar

6.2 Cálculo del CAD

En la siguiente figura se muestra los resultados globales de una simulación cualquiera, resultados que se publican al final de la simulación.

Resultados globales.

```
CF_VE[MUSD]: 969.64
CF_VaR(5%)[MUSD]: 1165.56
CF_CVaR(5%)[MUSD]: 1484.25
cdp_VE[MUSD]: 838.28
```

Donde **cdp_VE[MUSD]** es el costo de recorrer la etapa (horizonte de simulación) y el **CF_VE[MUSD]** es el valor presente del costo futuro de la operación óptima, en valor esperado, (es el promedio del costo de haber recorrido la etapa más el costo futuro del sistema en el estado al que llegó al final de la etapa). Esta información también se puede encontrar, con detalle crónica por crónica, en el archivo "simcosto" que el simulador crea en la carpeta rundir al realizar la simulación.

















Para reproducir el valor del **cdp_VE** y el valor del **CF_VE**, se agregaron a la plantilla del SimRes3 los índices de la Sala:

Índices	Variables Crónicas	Operaciones Crónicas	Post Operaciones	Impresión de Variables Crónicas	Ejecutar	?
Agregar índice <input type="text" value="sala"/>						
Nombre	Actor	Variable	Número de SimRes			
Idx_CF_AllinicioDelPaso_Sala	Sala	CF_AllinicioDelPaso	1			
Idx_CPDirecto_Sala	Sala	CPDirecto	1			
Idx_cdp_PenalidadesExtras_Sala	Sala	cdp_PenalidadesExtras	1			

Luego se utilizó la operación crónica suma para guardar los índices en las variables abajo mostradas:

Índices	Variables Crónicas	Operaciones Crónicas	Post Operaciones	Impresión de Variables Crónicas	Ejecutar	?
Agregar operación crónica <input type="text" value="sala"/>						
Tipo de operación	Resultados	Parámetros índice	Parámetros adicionales			
suma	Sala_cdp	Idx_CPDirecto_Sala	-			
suma	CF_Inicio_del_paso	Idx_CF_AllinicioDelPaso_Sala	-			
suma	Sala_PenalidadesExtra	Idx_cdp_PenalidadesExtras_Sala	-			

Con ayuda de las post operaciones abajo mostradas, se logró obtener en cada paso de la simulación el valor acumulado de haber llegado hasta ese paso más el costo futuro.

Índices	Variables Crónicas	Operaciones Crónicas	Post Operaciones	Impresión de Variables Crónicas	Ejecutar	?
Agregar post operación <input type="text"/> 						
Tipo de operación	Resultados	Parámetros variables crónicas	Parámetros adicionales			
acumularCronVar	Sala_cdp_acum	Sala_cdp	-			
aplicarActualizador	CF_Inicio_del_paso_Actualizado	CF_Inicio_del_paso	q= 0.999738910309561			
combinarDespCronVars	VE CF(cpd+CF_alfindelpaso)	Sala_cdp_acum, CF_Inicio_del_paso_Act...	coeficientes= [1, 1], desplazamientos...			
cronVarPorReal	VE CF(cpd+CF_alfindelpaso)	VE CF(cpd+CF_alfindelpaso)	aReal= 1E-6			
cronVarPorReal	Sala_cdp_acum	Sala_cdp_acum	aReal= 1E-6			














Como la sala publica el valor del CF al inicio del paso, para poder tener en cada paso el CF al final del paso, tuvimos que desplazar en un paso hacia atrás la serie del CF_InicioDelPaso paso. Se utilizó la post operación “combinarDespCronVar”, que permite desplazar la serie y hacer la suma.

En todos los casos el factor de actualización utilizado fue el diario de $[(1/1.1)^{(1/365)}]=0.99973891$ que se corresponde al de la tasa anual usada en la sala, 10%.

En resumen, y con todo lo anterior, logramos expresar:

- **CF_VE[MUSD]** en la variable “**VE CF (Sala_cdp+CF_alfinaldelpaso)**” y
- **cdp_VE[MUSD]** en la variable “**Sala_cdp_acum**”


Finalmente, para hallar el valor del costo de etapa sin penalidades, antes de acumular la serie del cdp publicada por la sala, se le descontaron las penalidades en cada paso (las penalidades se calcularon de dos maneras diferentes que resultaron ser coincidentes, una fue a través de las que publica la sala y la otra fue sumando las que publican cada una de las hidráulicas Bon, Pal y SG. Se logró obtener el costo total, en el último paso, de penalizaciones en el horizonte de simulación, valor acumulado de la variable “**Sala_PenalidadesExtras_acum**”

Índices	Variables Crónicas	Operaciones Crónicas	Post Operaciones	Impresión de Variables Crónicas	Ejecutar	?
Agregar post operación <input type="text"/> 						
Tipo de operación	Resultados	Parámetros variables crónicas	Parámetros adicionales			
combinarCronVars	(Sala_cdp)-(Sala_PenalidadesExtra)	Sala_cdp, Sala_PenalidadesExtra	coeficientes= [1, -1]			
acumularCronVar	(Sala_cdp)-(Sala_PenalidadesExtra)_acum	(Sala_cdp)-(Sala_PenalidadesExtra)	-			
combinarCronVars	(Sala_cdp)-(Bon_Pal_SG_PenalidadesExtra)	Sala_cdp, BON_costo_PenalidadesExtra,...	coeficientes= [1, -1, -1, -1]			
acumularCronVar	(Sala_cdp)-(Bon_Pal_SG_PenalidadesExt...	(Sala_cdp)-(Bon_Pal_SG_PenalidadesExtra)	-			

De lo anterior se logró expresar el **cdp_VE[MUSD]** sin las penalidades, en la variable “(Sala_cdp)-(Sala_PenalidadesExtra)”.

6.3 **Cálculo de la “valorización de la demanda al Marginal”.**

Se calcula valorizando la energía de demanda al cmg, esta operación se realiza con la operación crónica SumaDobleProductoconDurpos como se muestra en la siguiente figura.

Índices	Variables Crónicas	Operaciones Crónicas	Post Operaciones	Impresión de Variables Crónicas	Ejecutar ?
Agregar operación crónica		<input type="text"/>			
Tipo de operación	Resultados	Parámetros índice	Parámetros adicionales		
sumaDobleProductoConDurposTopeado_m	PDem*CMG	Idx_cmj_Monteideo, Idx_PD_Demanda, l...	TopeDe2= 100000		

7 Resultados

7.1 Penalidades obtenidas

En el siguiente cuadro se presentan las penalidades obtenidas de la calibración realizada.

Central	Cota mínima (m)	Penalidad actual (MUSD/(m-día))	Penalidad calibrada (MUSD/(m-día))	Variación en pu del caso actual
Bonete	72,30	1,315	1,972	1,5
Palmar	37,0	0,458	0,962	2,1
Salto Grande	32,0	0,611	3,055	5,0

Tabla 1: Penalidades de las Centrales

A continuación, se muestran las curvas de excedencias para los valores de cotas de las 3 centrales con las penalidades calibradas.

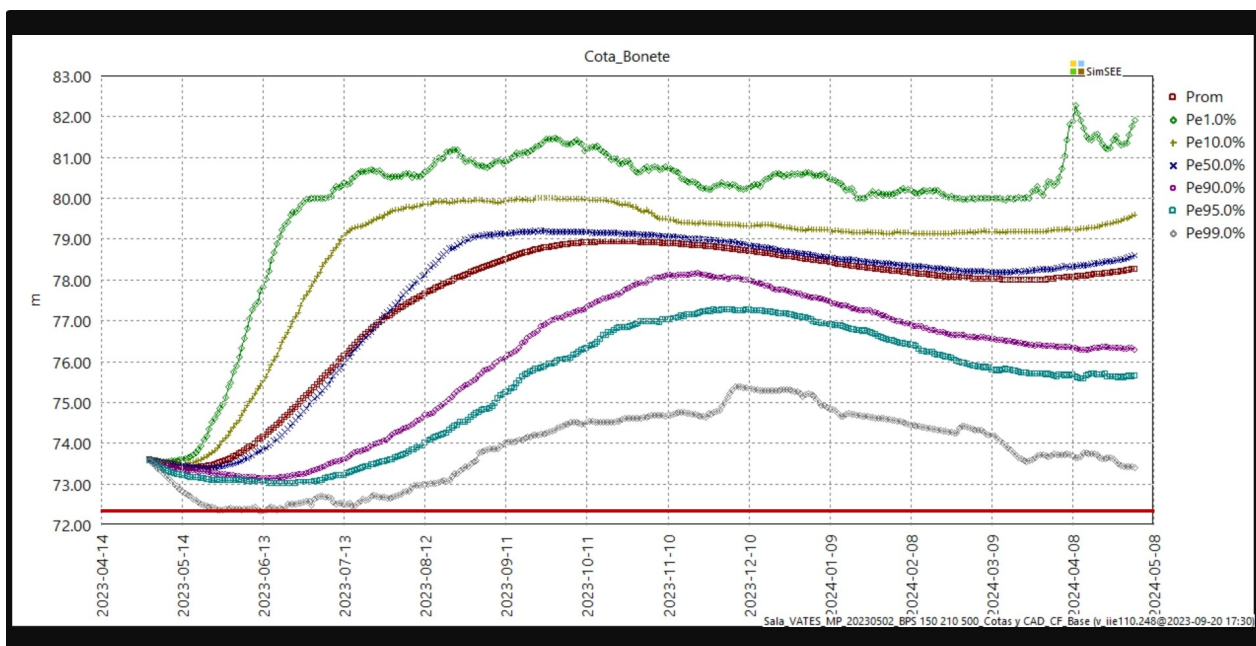


Figura 1: Cota de Bonete con excedencias para penalidad calibrada

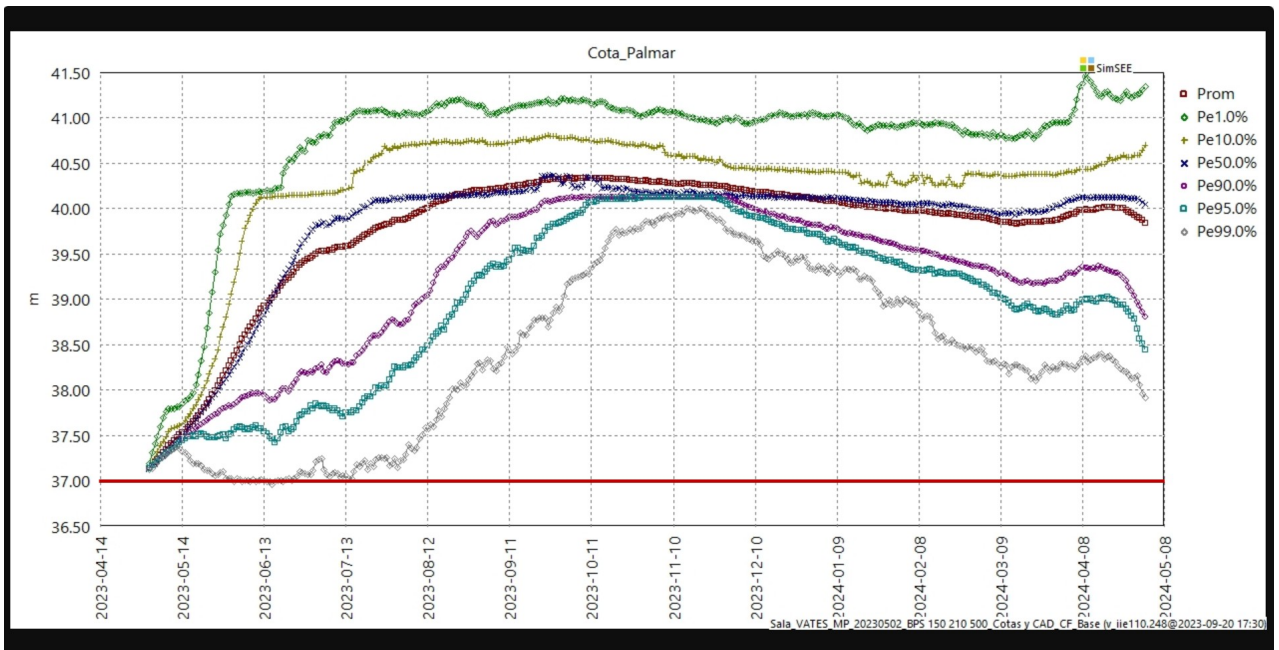


Figura 2 Cota de Palmar con excedencias para penalidad calibrada

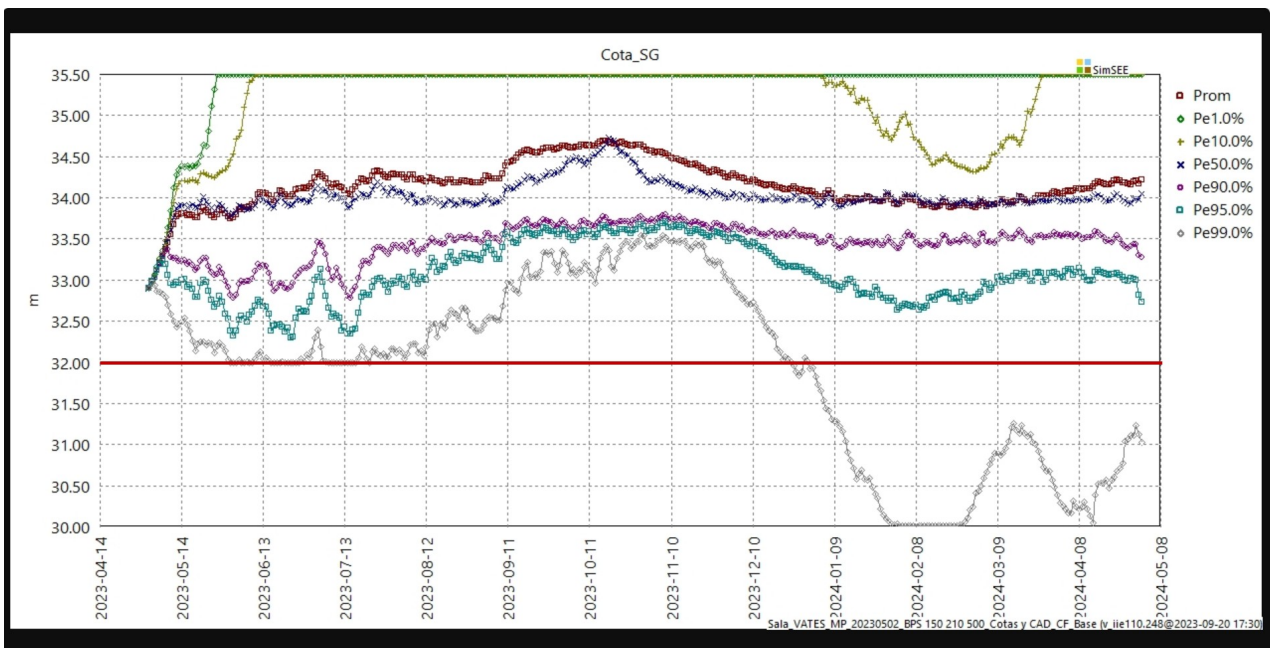
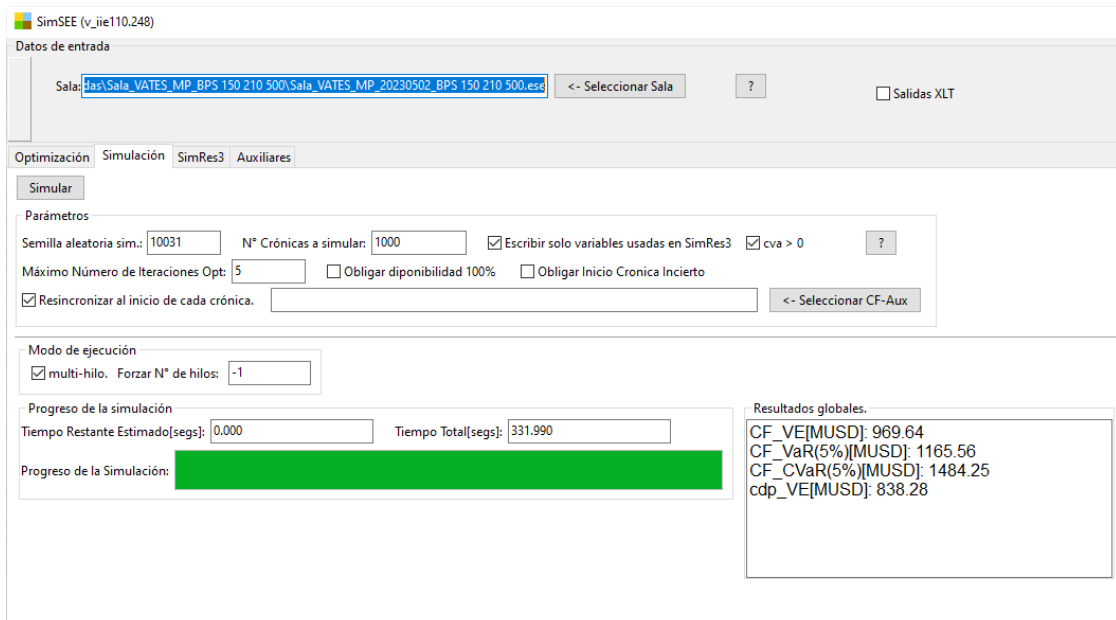


Figura 3 Cota de SG con excedencias para penalidad calibrada

En el caso de SG, no se pudo cumplir con el requerimiento de cota mínima igual a 32 m durante todo el período simulado. Esto se debe a que la central tiene modelado una restricción de erogado mínimo por navegabilidad del río (450 o $375 \text{ m}^3/\text{s}$) que principalmente en la época de estiaje (verano) no permite cumplir con la cota mínima, sin importar cuanto se aumente la penalidad.

7.2 Resultados para el cálculo del CAD.

A continuación se muestra una captura de la salida al final de la simulación, dónde se presentan los resultados globales.



SimSEE (v. iie110.248)

Datos de entrada

Sala: `has\Sala_VATES_MP_BPS 150 210 500\Sala_VATES_MP_20230502_BPS 150 210 500.esd` <- Seleccionar Sala ? Salidas XLT

Optimización Simulación **SimRes3** Auxiliares

Simular

Parámetros

Semilla aleatoria sim.: 10031 N° Crónicas a simular: 1000 Escribir solo variables usadas en SimRes3 cva > 0 ?

Máximo Número de Iteraciones Opt: 5 Obligar disponibilidad 100% Obligar Inicio Cronica Incierto


Resincronizar al inicio de cada crónica. <- Seleccionar CF-Aux

Modo de ejecución

multi-hilo. Forzar N° de hilos: -1

Progreso de la simulación

Tiempo Restante Estimado[segs]: 0,000 Tiempo Total[segs]: 331,990

Progreso de la Simulación: 

Resultados globales.

CF_VE[MUSD]: 969.64
 CF_VaR(5%)[MUSD]: 1165.56
 CF_CVaR(5%)[MUSD]: 1484.25
 cdp_VE[MUSD]: 838.28

En la siguiente figura se muestra el valor acumulado de las penalidades para el periodo simulado. La curva azul representa la salida que tiene el actor sala mientras que la roja es la calculada a partir de las penalidades de Bonete Palmar y Salto Grande.

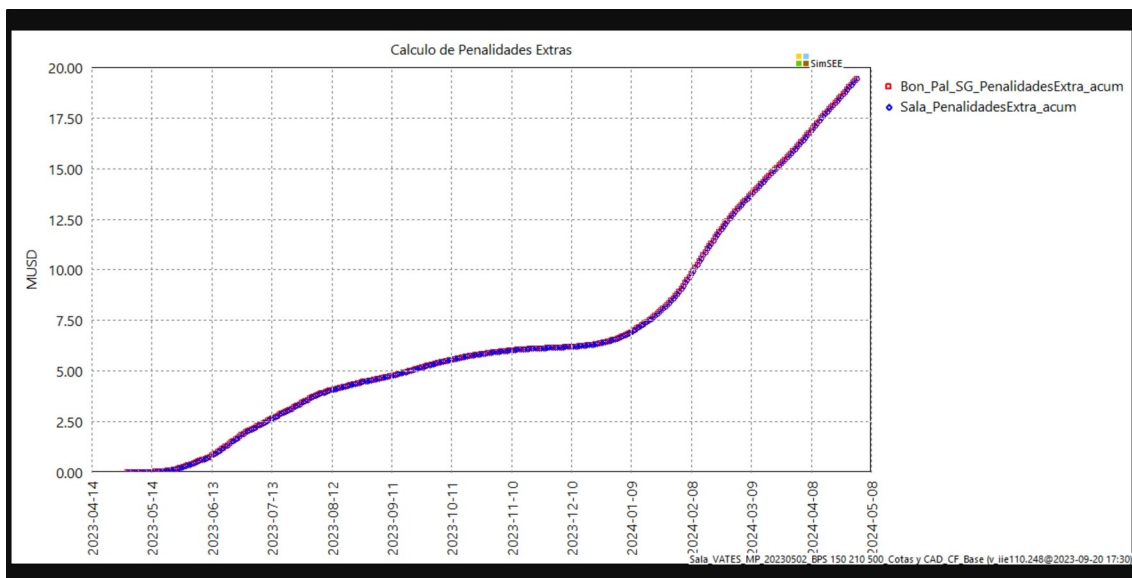


Figura 4: cálculo de penalidades extras

En el siguiente gráfico, en el último paso de simulación se muestra el valor logrado para el costo futuro y el valor del costo de etapa.

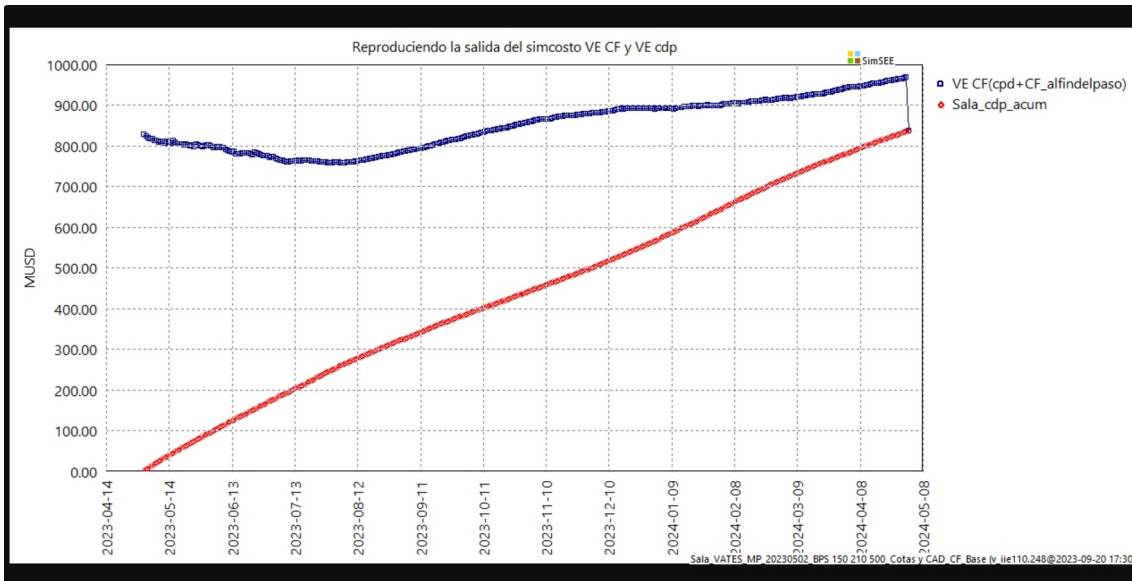


Figura 5:Reproducción de salida simcosto

A continuación, se muestran la misma información descontando las penalidades. Los valores en el último paso, tanto para la diferencia entre la curva azul y la verde, como para la diferencia entre la curva roja y negra, son las penalidades extras (19.5MUSD).

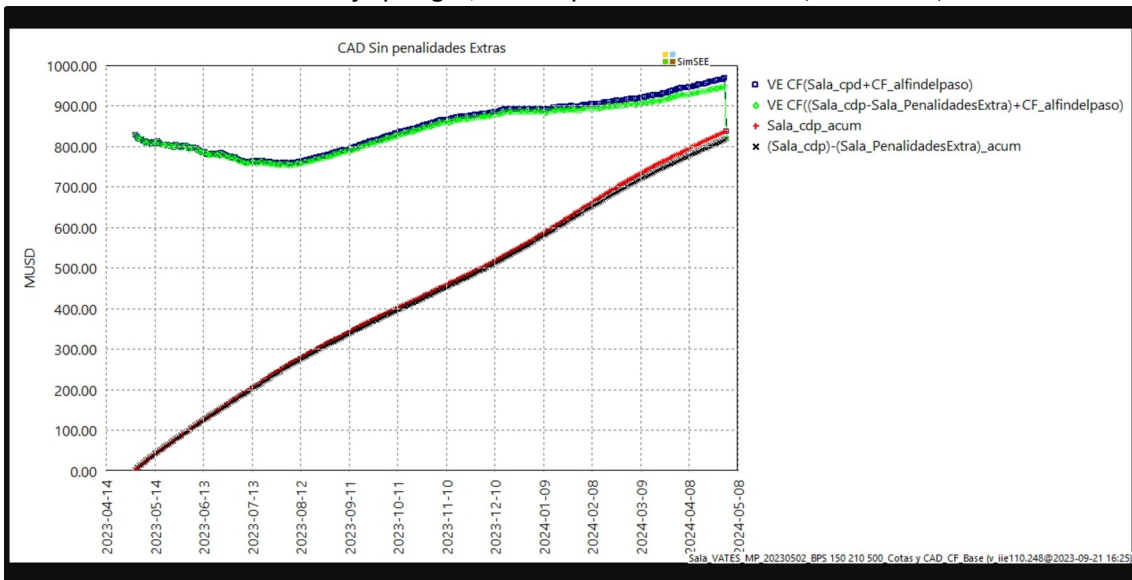


Figura 6:CAD sin penalidades extras

7.3 Resultados para el Beneficio por Sustitución

En el siguiente gráfico se presenta el BPS total acumulado para la calibración de penalidades realizada (150-210-500). Se discrimina la parte del beneficio que es generada entre los 250 USD/MWh y el Costo marginal. Se puede observar que a lo largo de todo el período se presentan costos marginales superiores a los 250 USD.

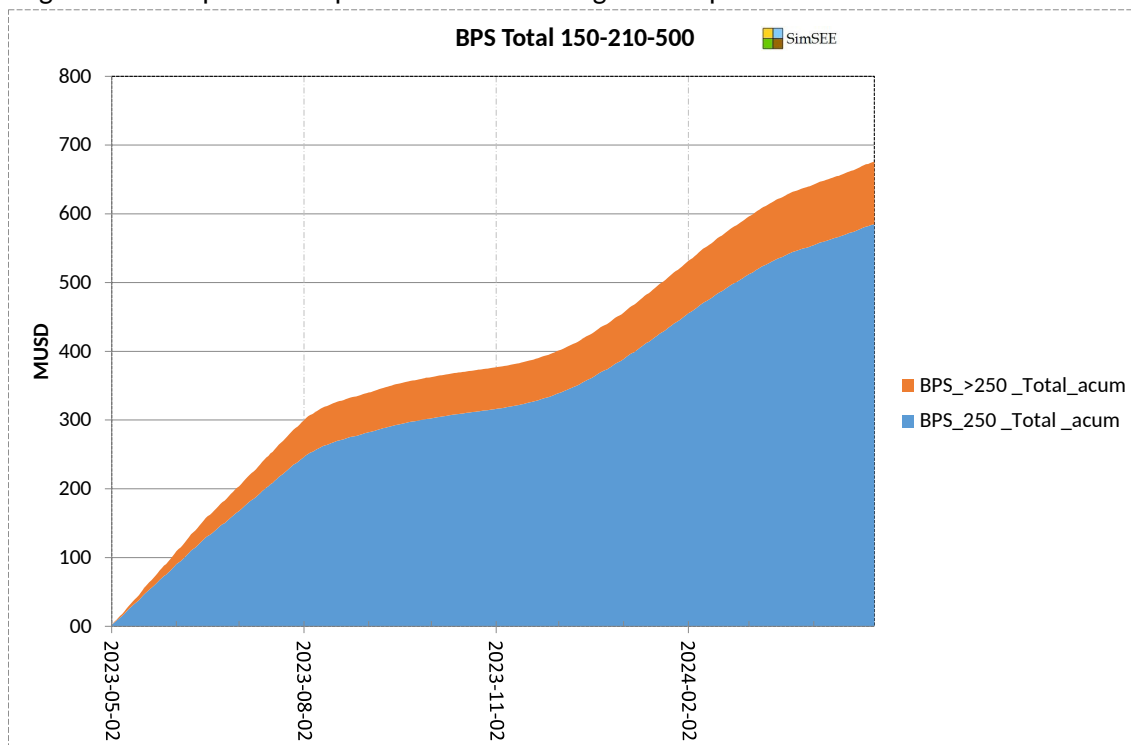


Figura 7: BPS TOTAL con penalidad calibrada

A continuación, se presenta cuadro resumen con los valores del Beneficio por sustitución por tecnología para el juego de penalidades (150-210-500)

	BPS 150-210-500 (MUSD)	
	Tope 250	CMG
Térmico	103	120
Hidráulico	61	85
Eólico	259	290
Solar	32	32
Biomasa	129	148
Total	585	676

Tabla 1: BPS por tecnología penalidad 150-210-500

7.4 Valorización de la demanda al marginal

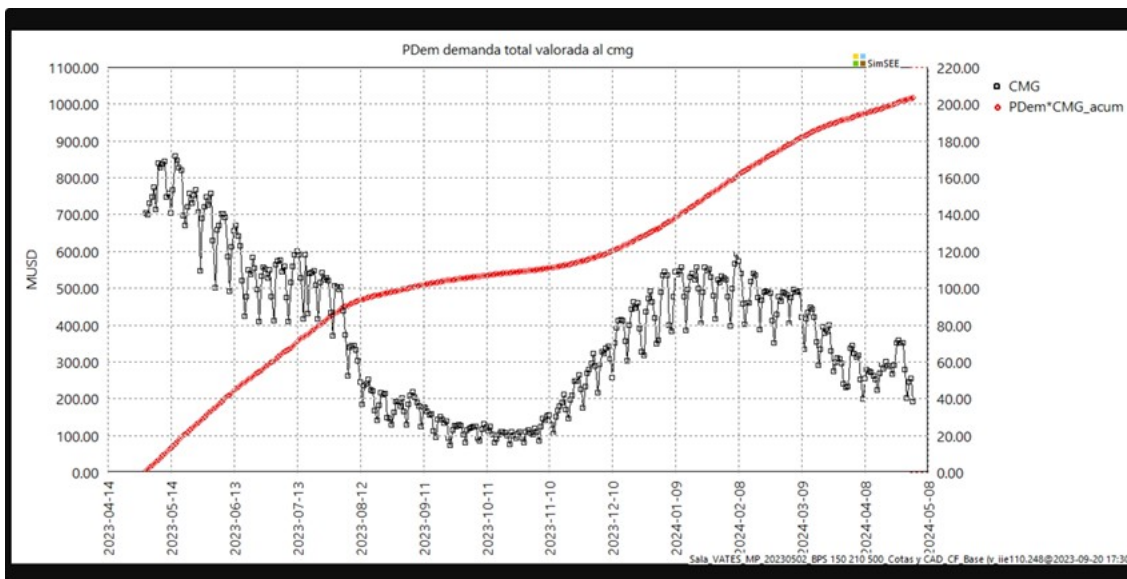


Figura 8: Demanda valorizada al marginal

7.5 Comparativa de los tres casos.

Resultados (MUSD)	Caso		
	Sin penalidades	Con penalidades actuales	Con penalidades calibradas
BPS_cmh	486.4	628.9	675.7
CF_con_Penalidades	894.0	957.6	969.5
cdp_con_Penalidades	749.8	823.8	838.3
CF_sin_Penalidades	884.2	924.4	950.0
cdp_sin_Penalidades	740.0	790.6	818.8
Penalidades	9.8	33.2	19.5

Tabla 2: Resultado del BPS Total, valores del Costo futuro, de etapa y de penalidades.

7.5.1 CAD

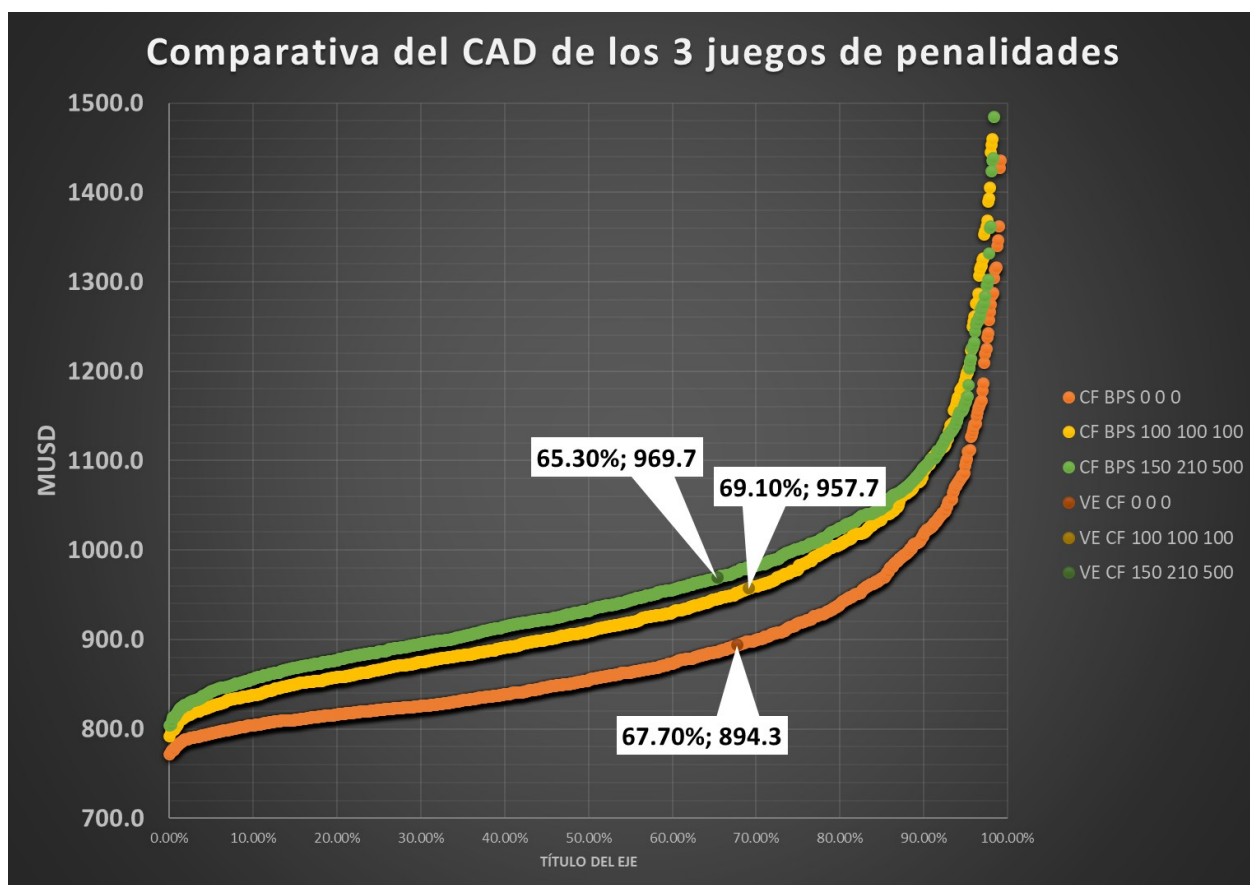


Figura 9: Comparación del CAD de las 3 penalidades

7.5.2 Beneficio Por Sustitución

Tecnología	BPS-SPOT (MUSD)			BPS-CMG (MUSD)		
	Sin penalidades	Con penalidades actuales	Con penalidades calibradas	Sin penalidades	Con penalidades actuales	Con penalidades calibradas
Térmico	41.9	82.8	103.2	60.1	93.6	119.9
Hidráulico	71.5	64.7	61.5	100.7	94.7	85.4
Eólico	184.1	249.4	258.8	200.3	273.9	290.4
Solar	22.4	30.2	32.1	22.4	30.2	32.1
Biomasa	91.2	122.1	129.4	102.8	136.5	147.9
Total	411.1	549.3	584.9	486.4	628.9	675.7

Para las tecnologías térmicas se observa que, en la medida que endurecemos las penalidades el BPS aumenta, básicamente por el aumento del cmg y por el aumento de la energía total que inyectan al sistema.

Para las hidráulicas en general disminuye el BPS, el efecto se debe a que disminuyen la energía inyectada al sistema debido al aumento del valor de agua lo cual lleva a que salga menos veces despachado.

Para las tecnologías de costo variable nulo, el volumen de energía inyectado no cambia, por lo que el efecto del aumento del BPS se debe al aumento del cmg.

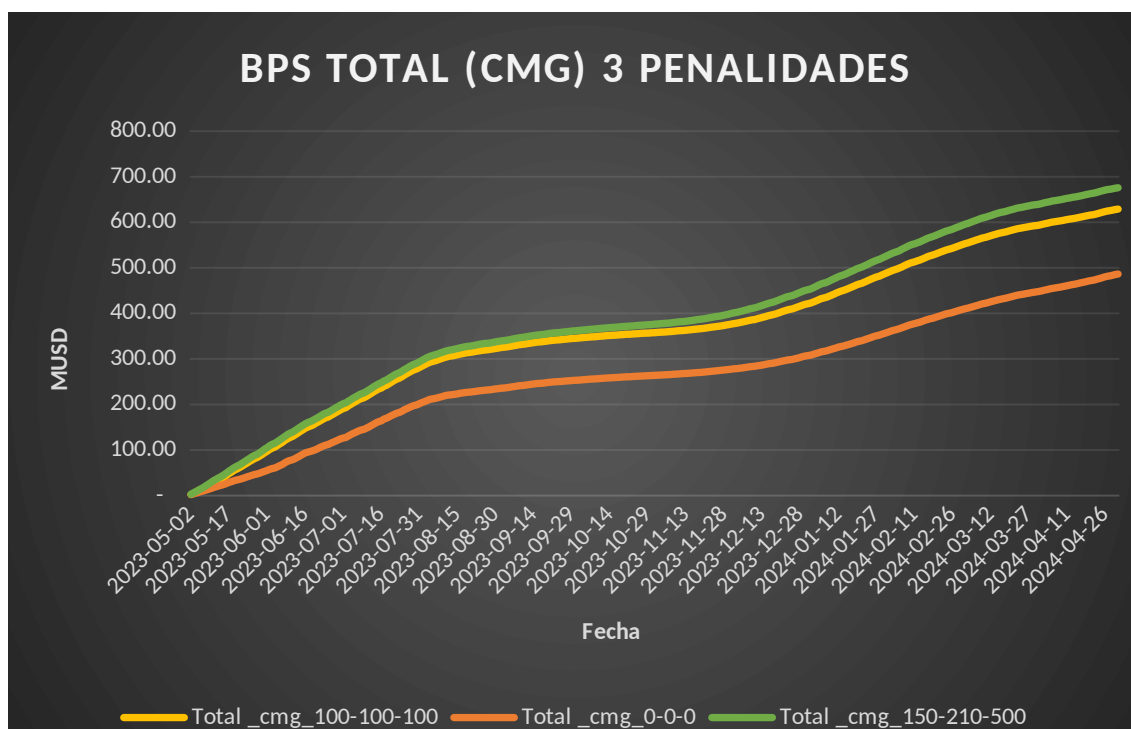


Figura 10: BPS Total para las 3 penalidades

7.5.3 Costo Marginal

En el gráfico siguiente podemos observar cómo para los 2 escenarios con penalidades la evolución del promedio del CMG es muy similar, en tanto el escenario sin penalidades presenta un nivel más bajo que los dos anteriores, pero con igual comportamiento. Para los 2 primeros meses se observa que el CMG presenta los valores más altos del período de simulación, ello se debe a que las cotas iniciales de los lagos son muy bajas con previsiones de aportes escasos que denotan una sequía severa.

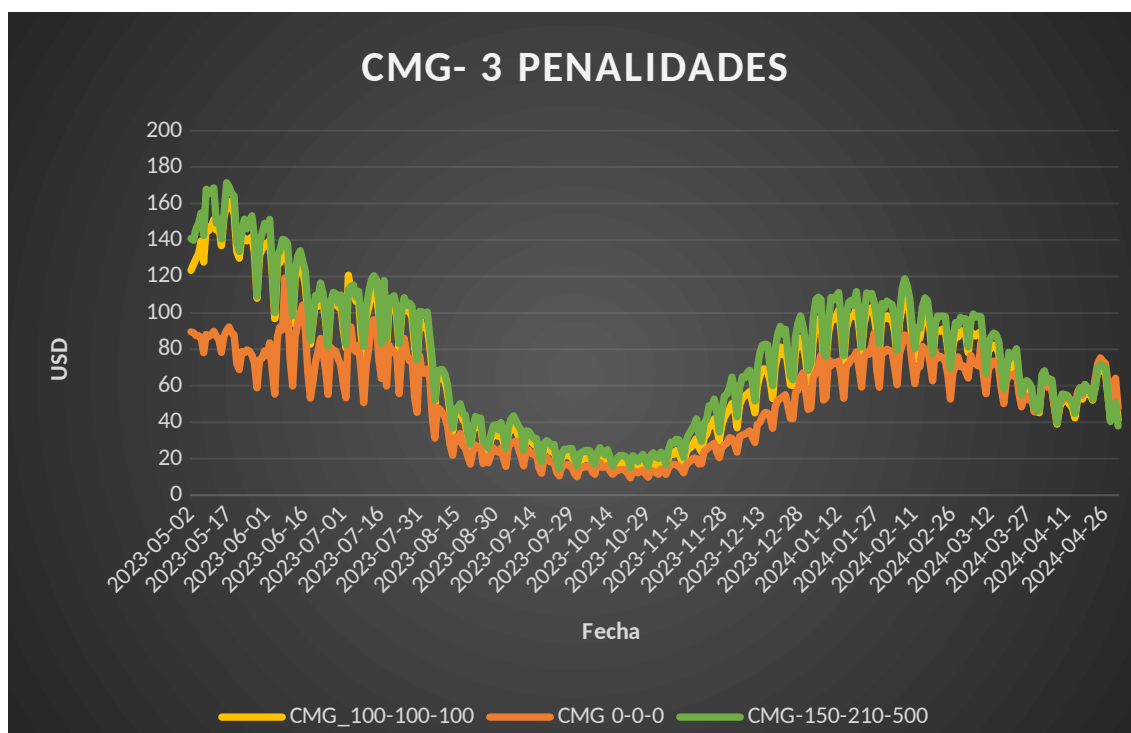


Figura 11:CMG para las 3 penalidades

7.5.4 Valor del agua

A continuación se muestran las curvas de valores de agua en valor esperado por central para los 3 juegos de penalidades analizados. Se observa que al aumentar las penalidades el valor de agua de las 3 centrales también aumenta.

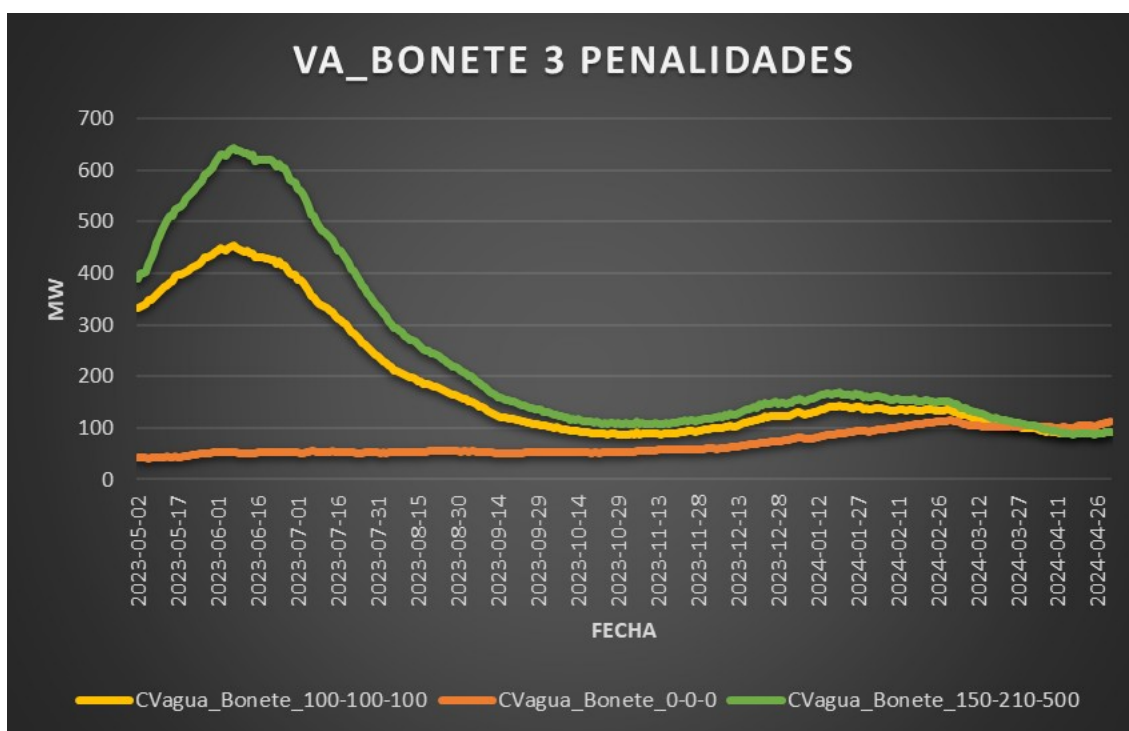


Figura 12: Valor de agua Bonete para las 3 penalidades

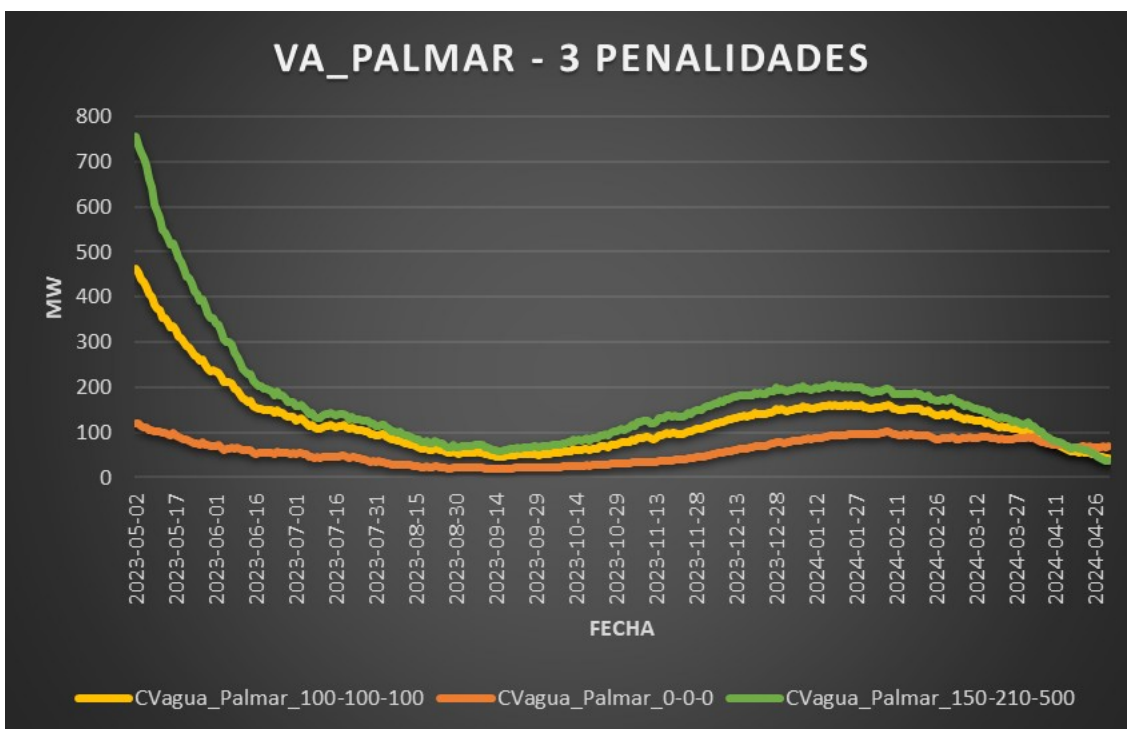


Figura 13: Valor de agua Palmar para las 3 penalidades

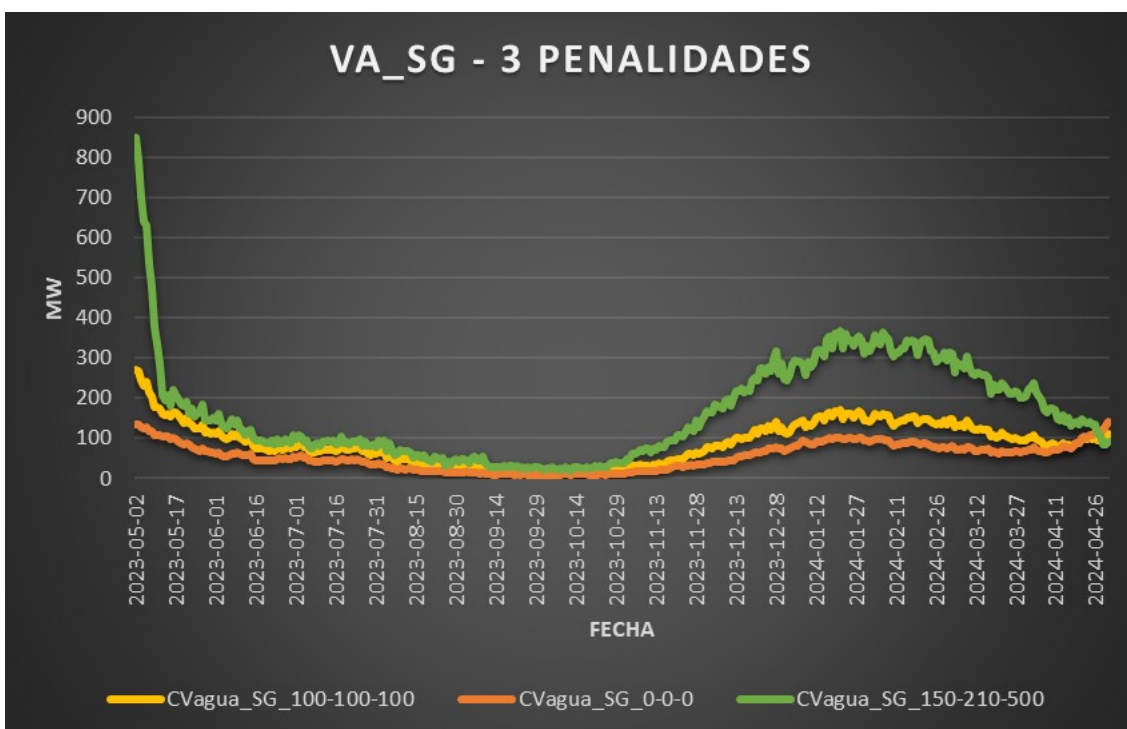


Figura 14: Valor de agua Salto Grande para las 3 penalidades

8 Conclusiones

Se logró calibrar las penalidades para las centrales de Bonete y Palmar con el fin de asegurar que el sistema eléctrico tenga la capacidad de realizar un arranque en negro con estas con una probabilidad de al menos en el 99%. En el caso de Bonete, se debió aumentar la penalidad actual en un 50% y en caso de Palmar se aumentó a 110%.

No se pudo lograr el mismo resultado para la central Salto Grande debido a las restricciones de erogado mínimo que tiene modelado el actor. Para la presentación de los resultados se eligió un aumento de la penalidad de 500%.

Este aumento de las penalidades provocó un aumento del costo marginal en todo el período simulado y afectó tanto al BPS total como a la distribución del mismo entre las distintas tecnologías. En particular para los generadores térmicos, eólicos, solares y de biomasa aumentó, en tanto que para los generadores hidráulicos disminuyó. En el caso de los generadores hidráulicos, la disminución se explica por el aumento del valor del agua que provoca una disminución de la energía despachada por los mismos. Esta disminución de la energía despachada es cubierta por un aumento en la generación térmica, que sumado al aumento del costo marginal explican el aumento del BPS para esta tecnología. En el caso de los generadores eólicos, solares y biomasa, dado que su generación permanece constante para cualquier penalidad, el aumento del BPS está asociado únicamente al aumento del costo marginal.

En cuanto a la afectación al CAD, las penalizaciones calibradas provocaron un aumento de 25 MUSD respecto de las calibraciones actuales. Esto representa un aumento del 2.8 %. Esta variación no parece despreciable, aunque puede estar influenciada por la condición inicial de sequía considerada. De todos modos, este aumento es de un orden de magnitud similar al que se obtuvo entre los casos sin penalidad y con la penalidad actual.

Nota: Se debe tener en cuenta que los resultados obtenidos en este trabajo son de carácter académico.

9 Anexo

9.1 Información complementaria del BPS

9.1.1 Cálculo del valor de agua de Bonete

BONETE

Para el actor se utilizan los INDICES:

-CV_aguaDec: Valor del agua calculado con la derivada decremental. USD/hm³

-ce: coeficiente energético de la Central MWh/m³

VARIABLES CRÓNICAS:

-cvAguaBon	-ceBon	-cvAguaBon_x
-cvAguaPal	-ceBay	
-cvAguaBonMWh	-ceBon+Bay	

OPERACIONES CRÓNICAS:

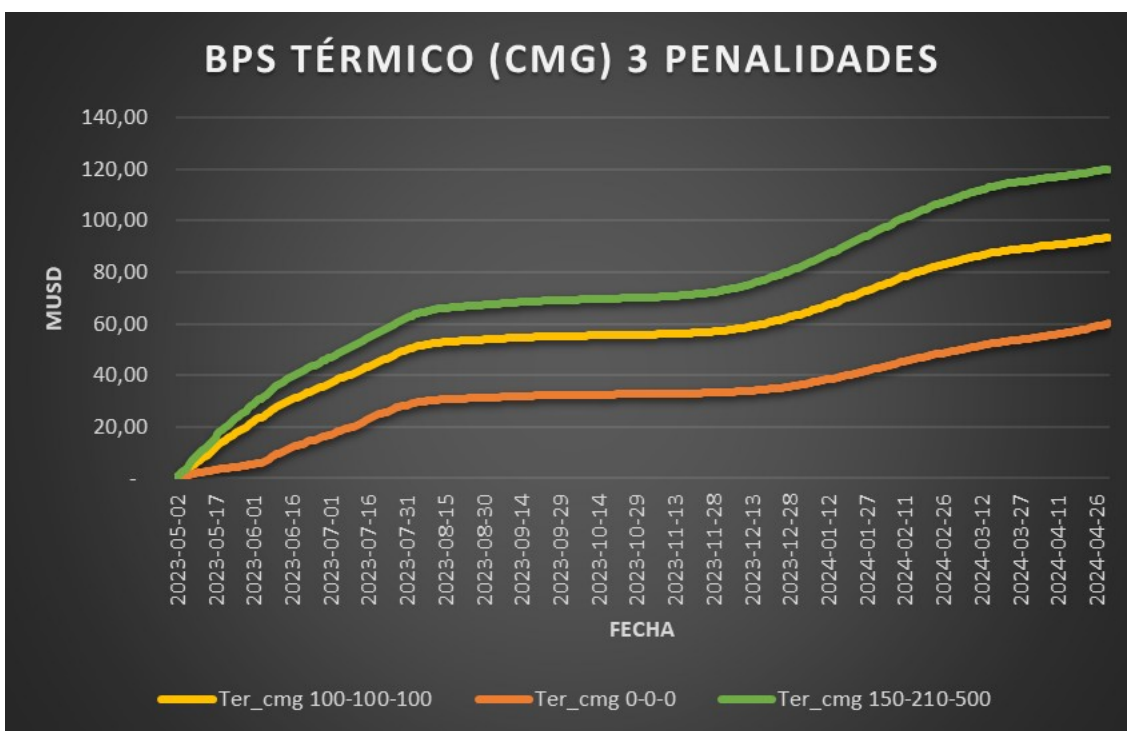
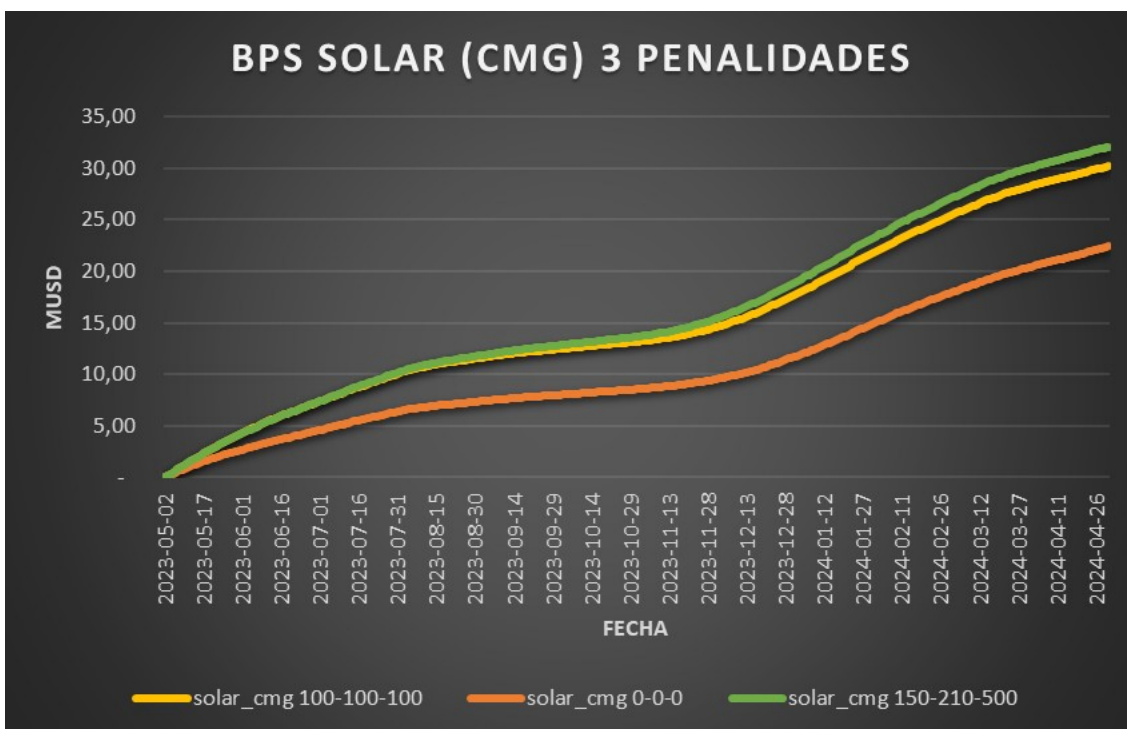
- **cvAguaBon**: promedio de **Idx_CV_aguaDec_Bonete**
- **cvAguaPal**: promedio de **Idx_CV_aguaDec_Palmar**
- **ceBon**: suma **Idx_ce_Bonete**
- **ceBay** suma **Idx_ce_Baygorria**

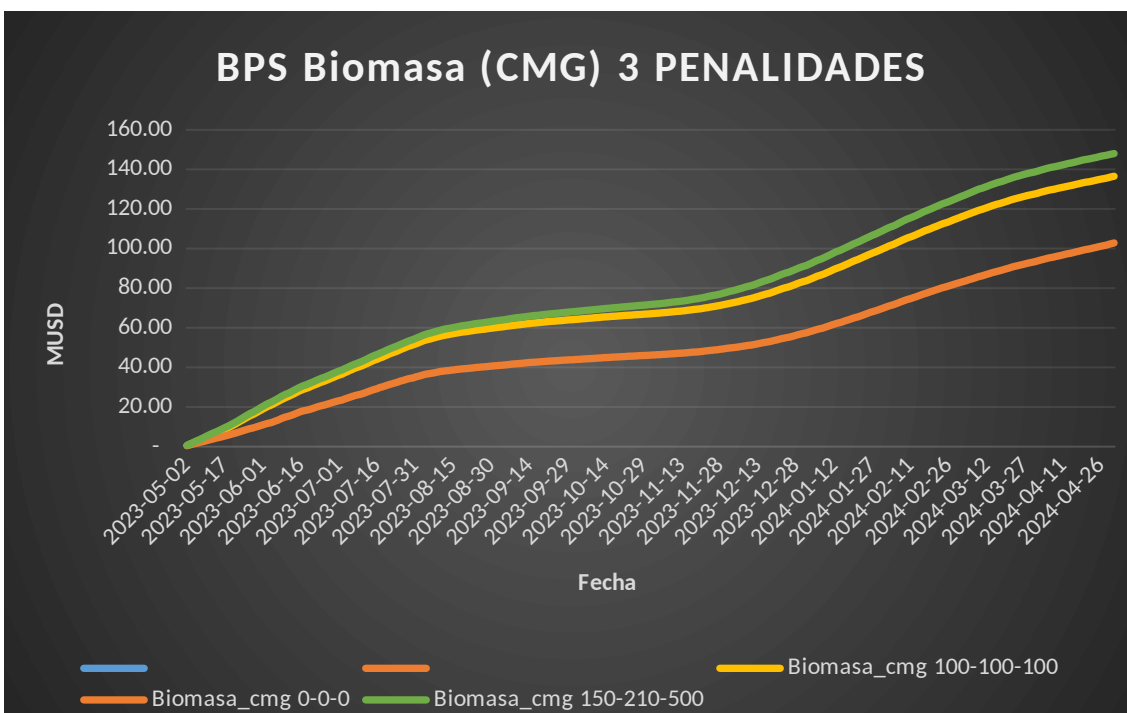
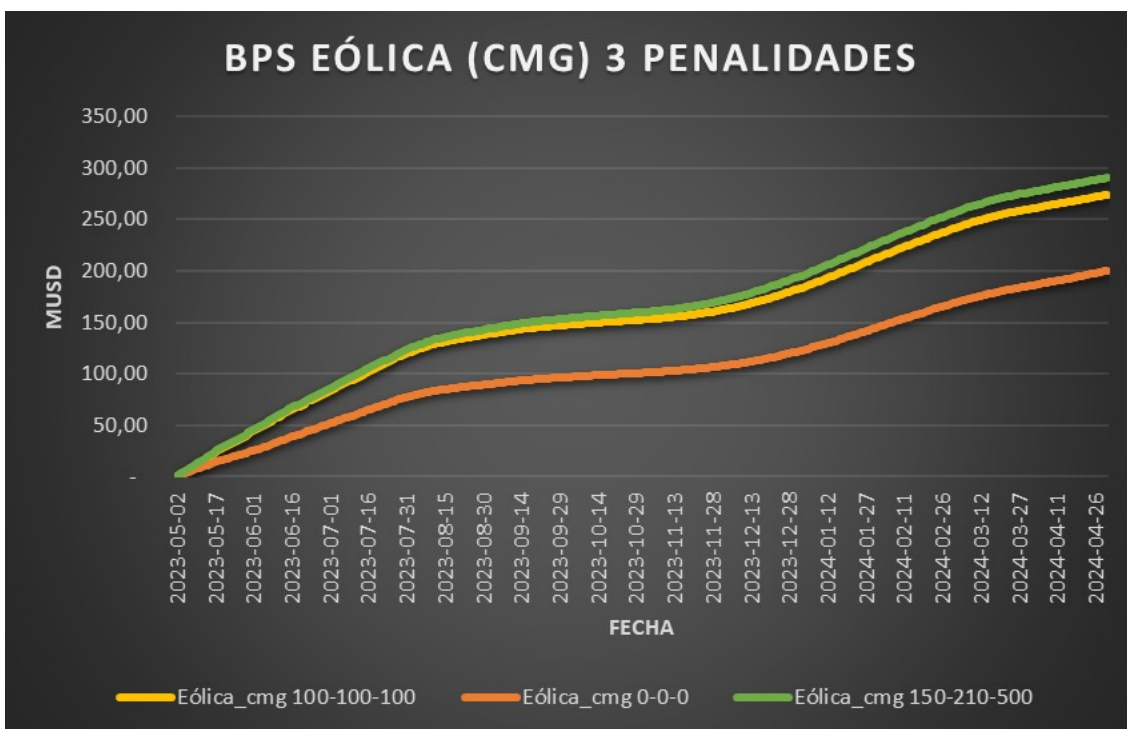
suma o promedio dan lo mismo ya que son un único valor por paso

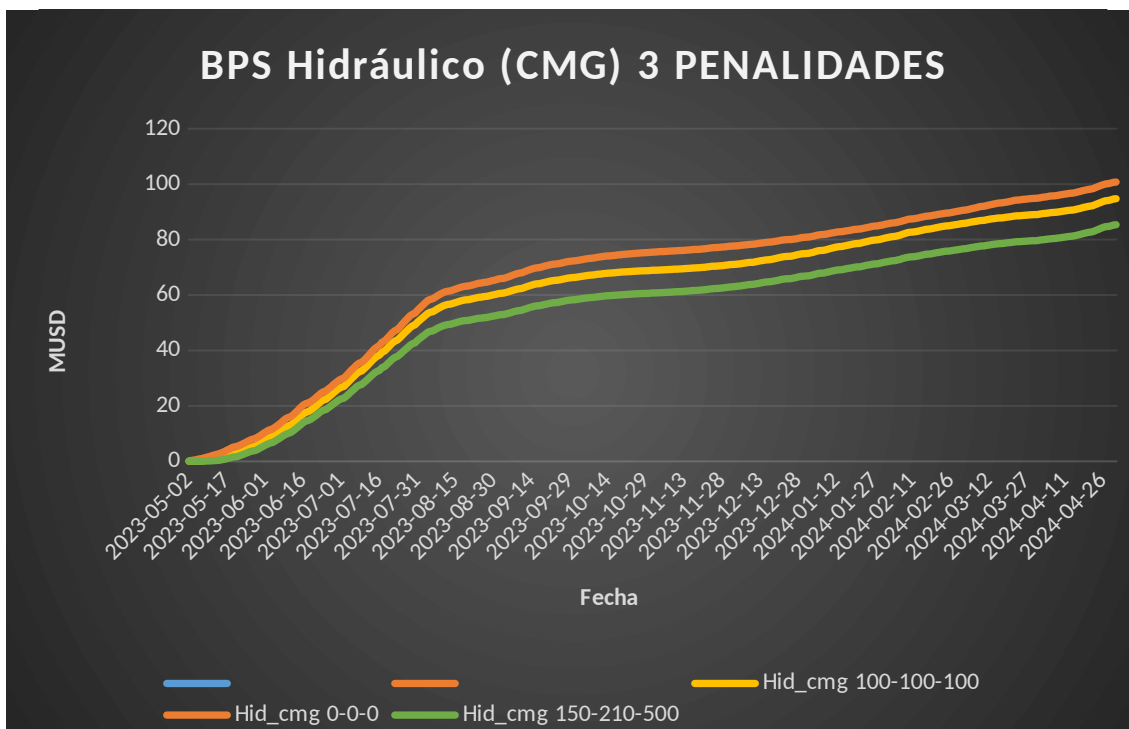
POST OPERACIONES:

- **cvAguaBon_x**: combinarCronVars **cvAguaBon** (coef =1), **cvAguaPal**(coef=-0.9801=-0.99*0.99)
combinarCronVars: combinación lineal ponderada de los valores de múltiples variables crónicas se realiza separadamente para cada crónica y paso de tiempo.
0.99 es el coeficiente de pérdida, usamos dos porque incluye pérdida de Bay y Palmar.
- **ceBon+Bay**: combinarCronVars **ceBon** (coef=1), **ceBay** (coef=0.99)
- **cvAguaBonMWh**: divisionCronVars **cvAguaBon_x/ceBon+Bay**
- **cvAguaBonMWh**: cronVarPorReal **cvAguaBonMWh** por 1E-6 (Esto es porque **cvAguaBon_x** está en USD/hm³ y **ceBon+Bay** está en MWh/m³. --> USD/MWh.

9.1.2 Gráficos comparativos del BPS por tecnología y escenario

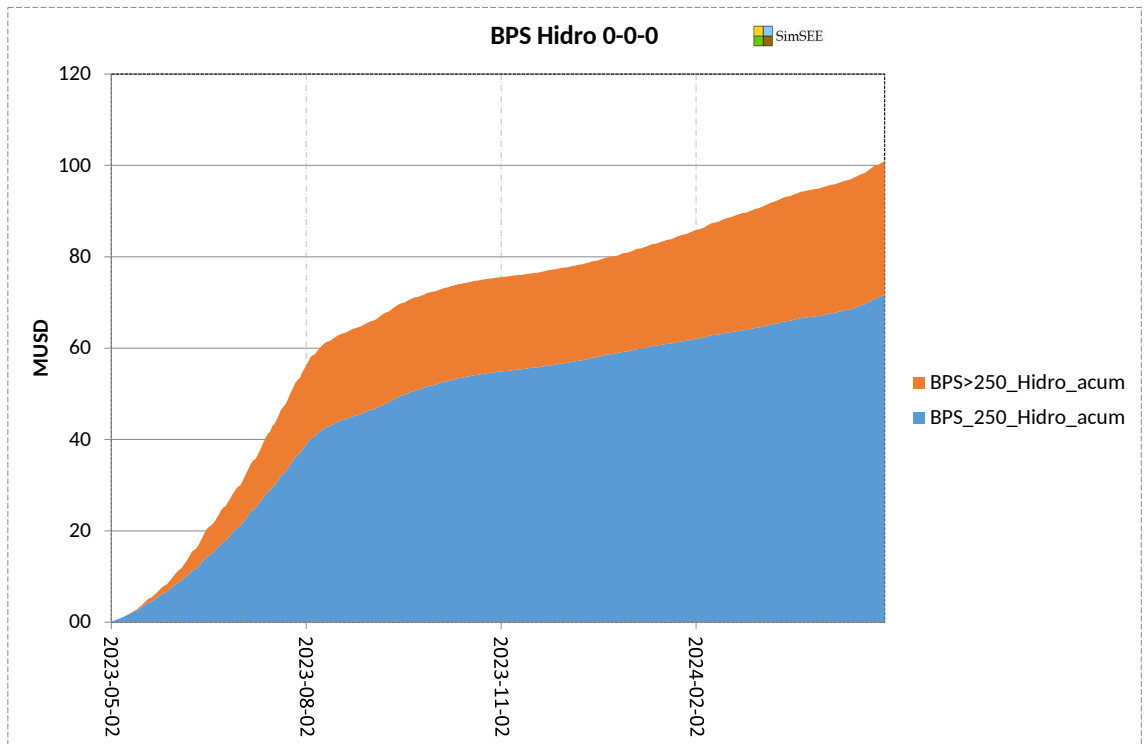


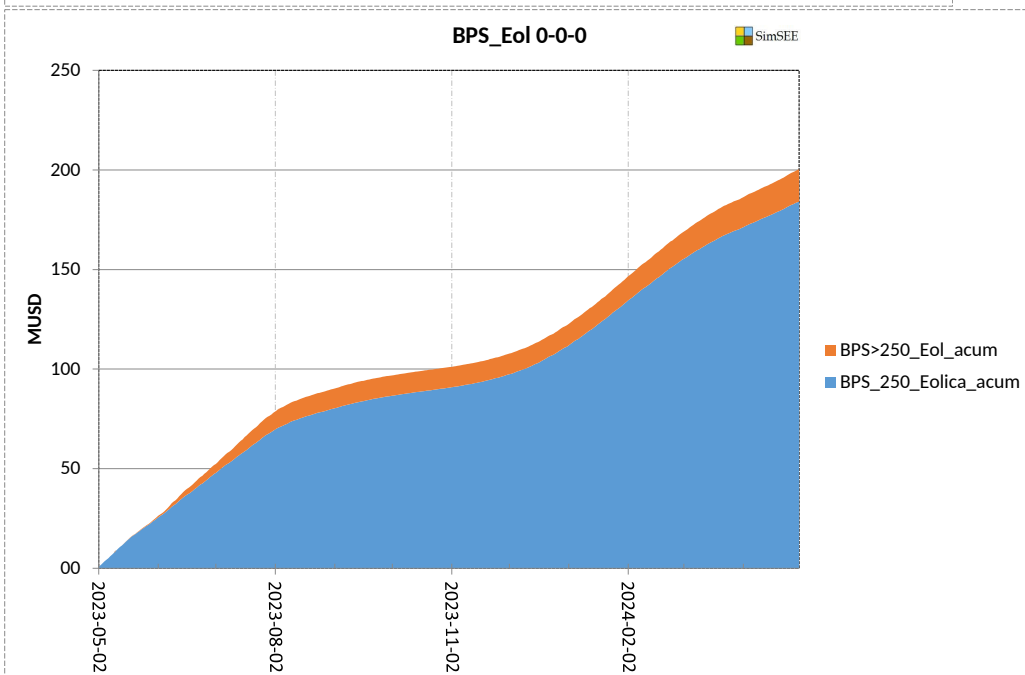
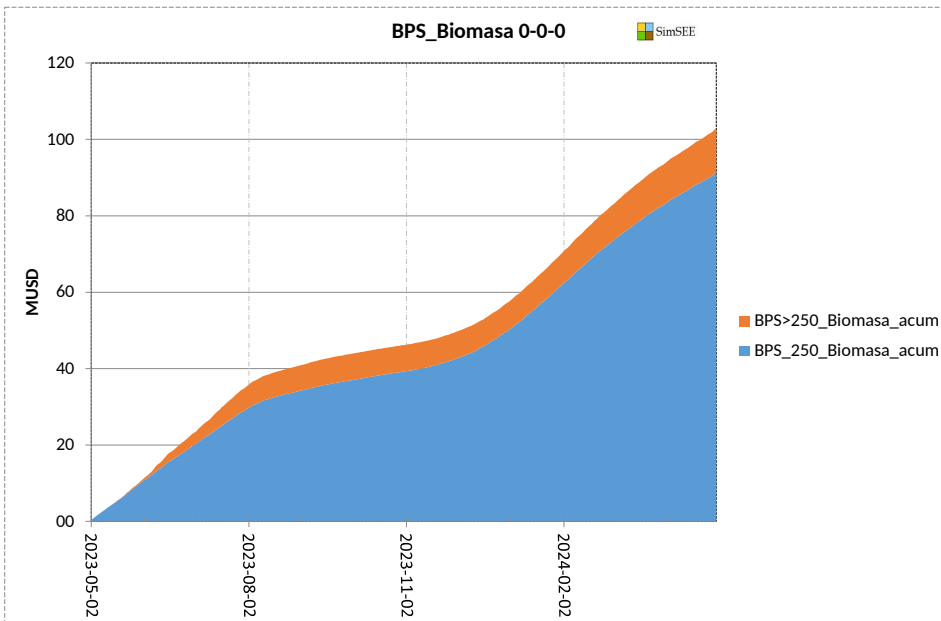


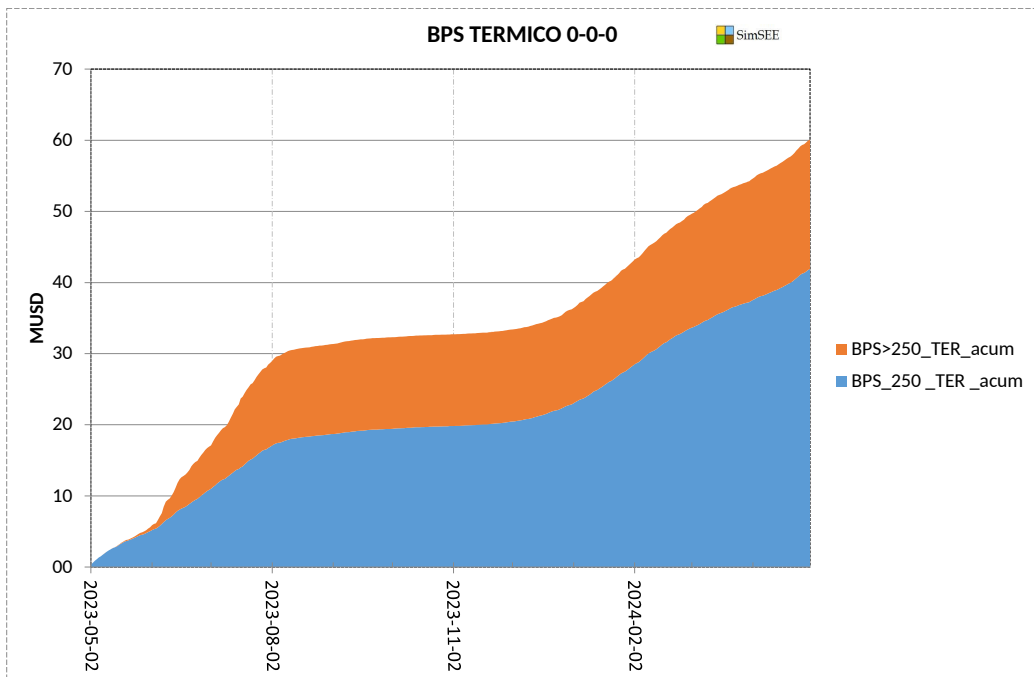
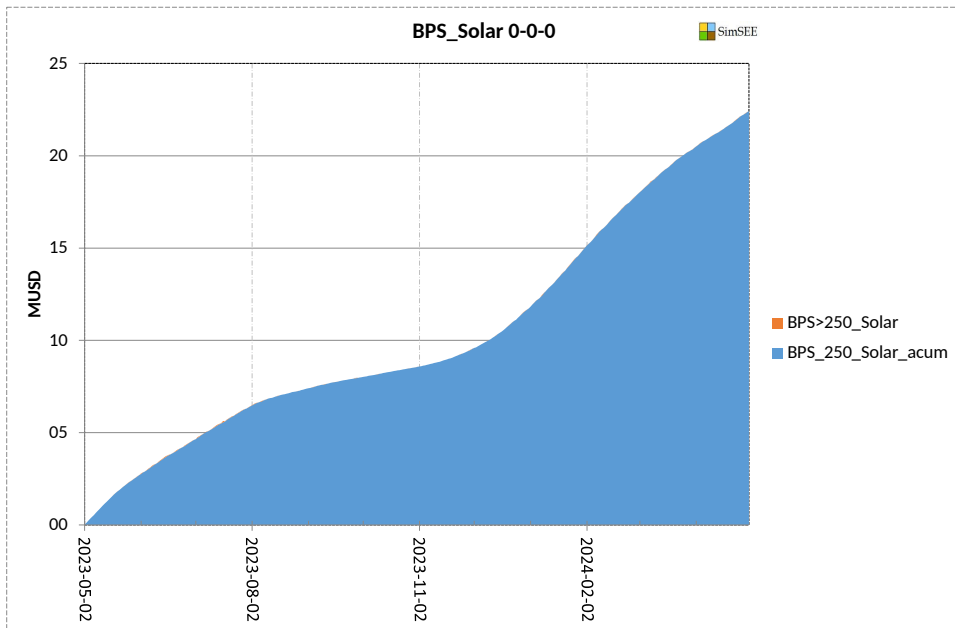


9.1.3 Gráficos del BPS por escenario y tope del marginal

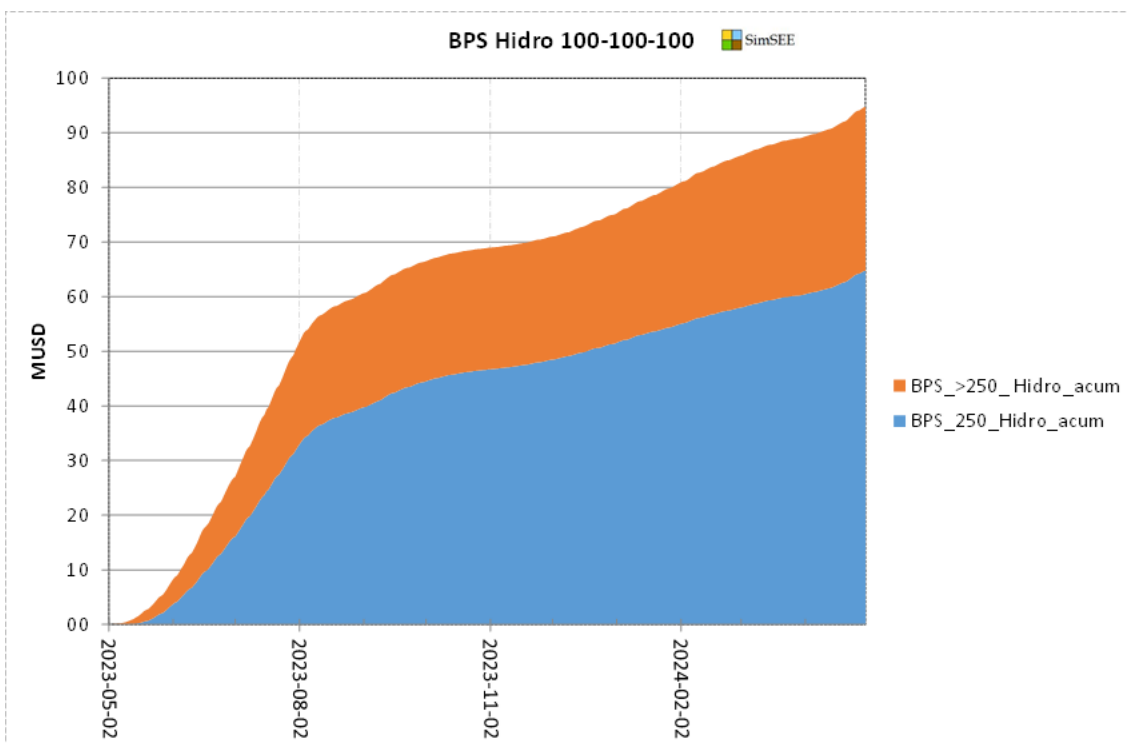
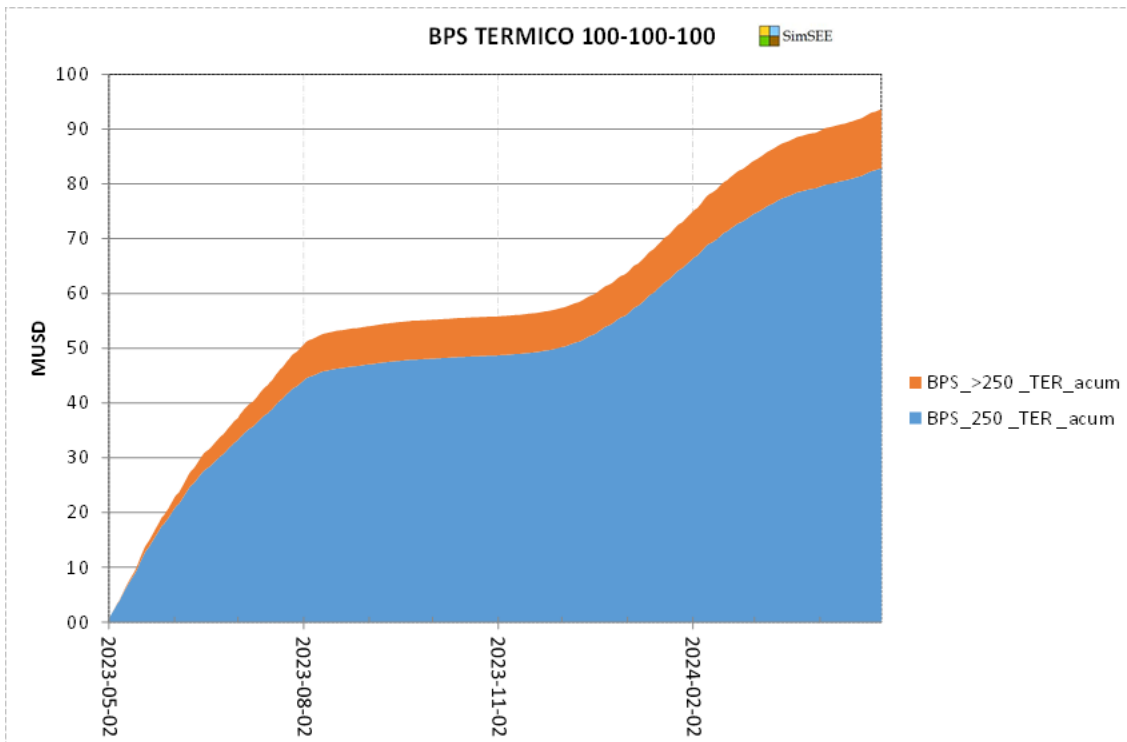
9.1.3.1 Caso sin penalidades (0-0-0)

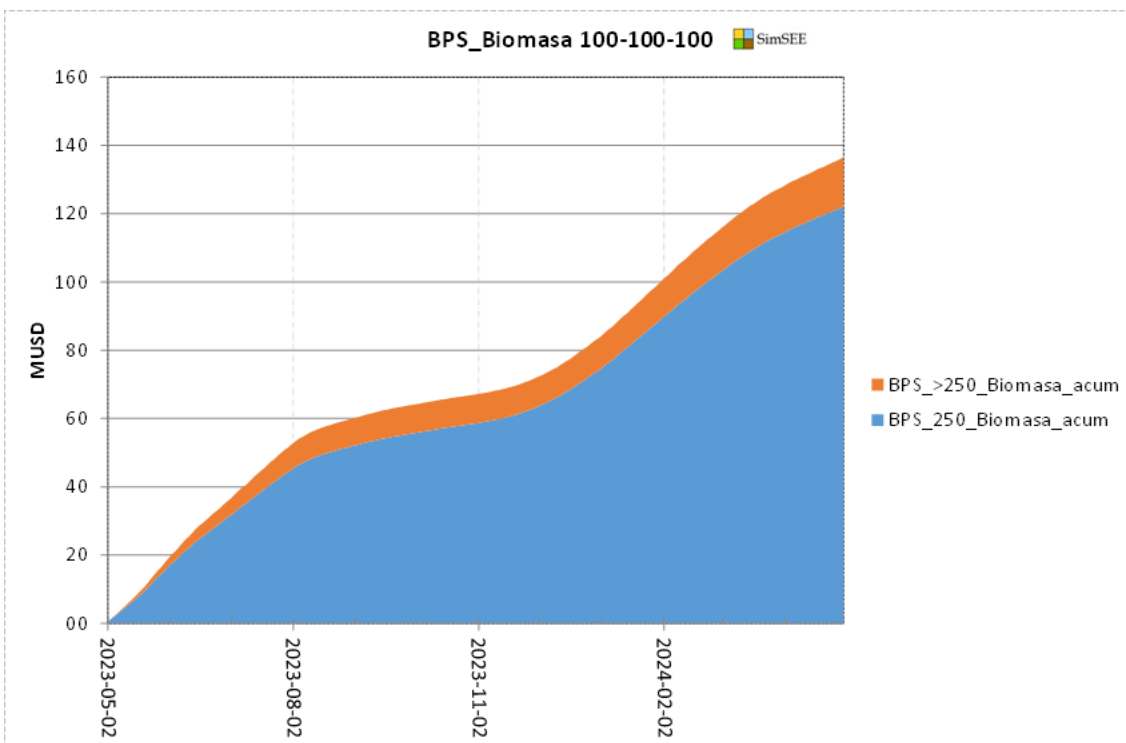
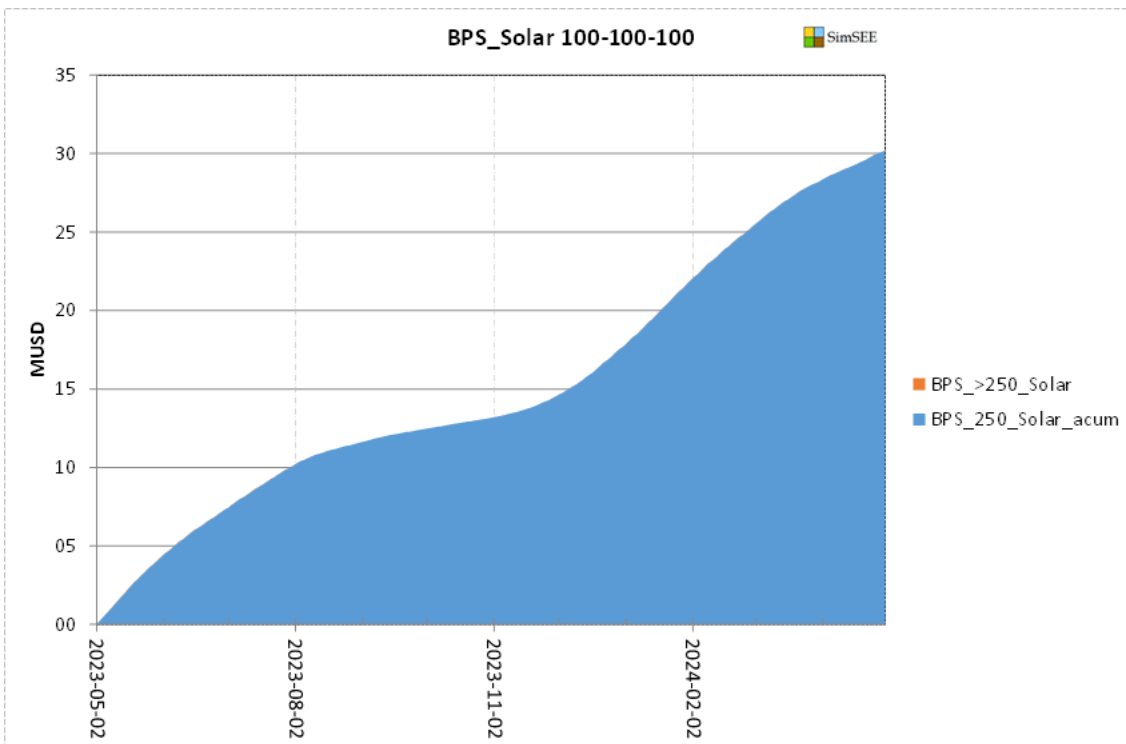


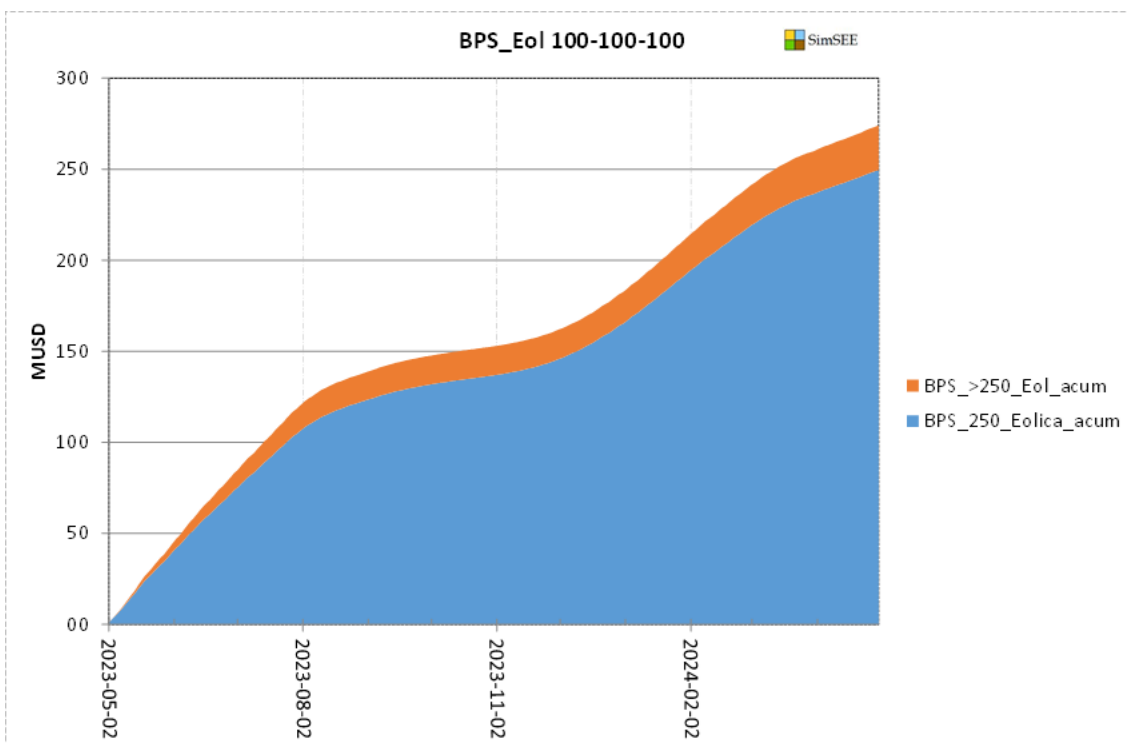




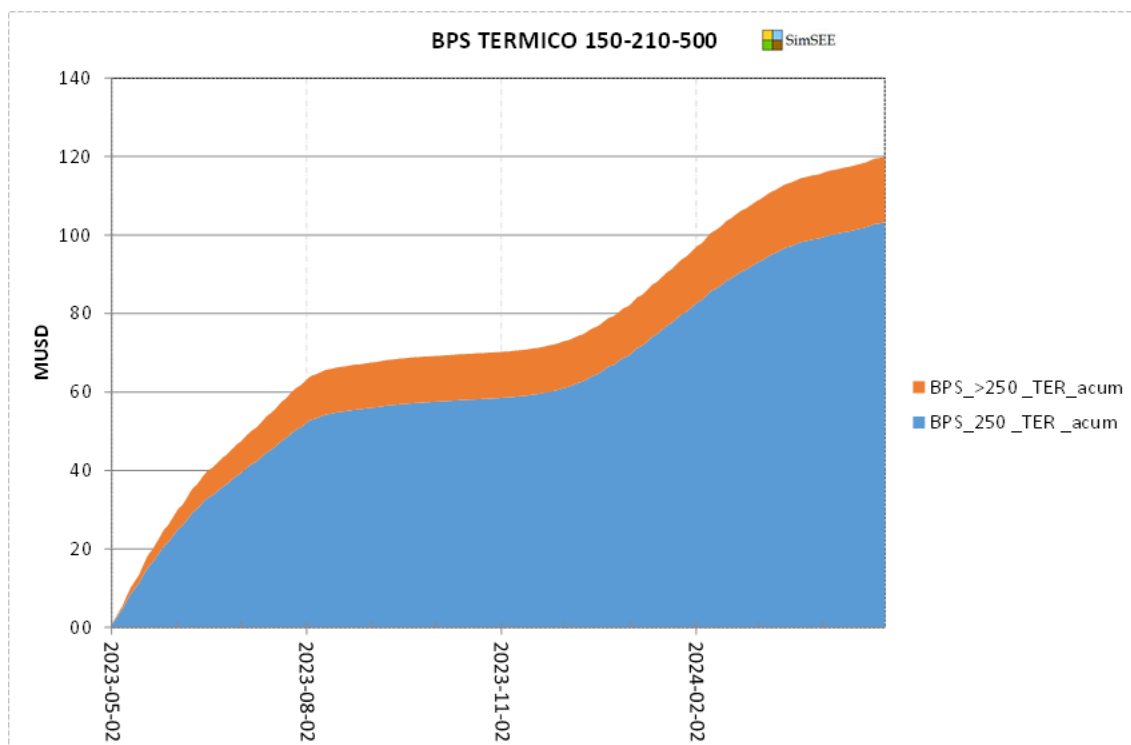
9.1.3.2 Caso penalidades base (100-100-100)

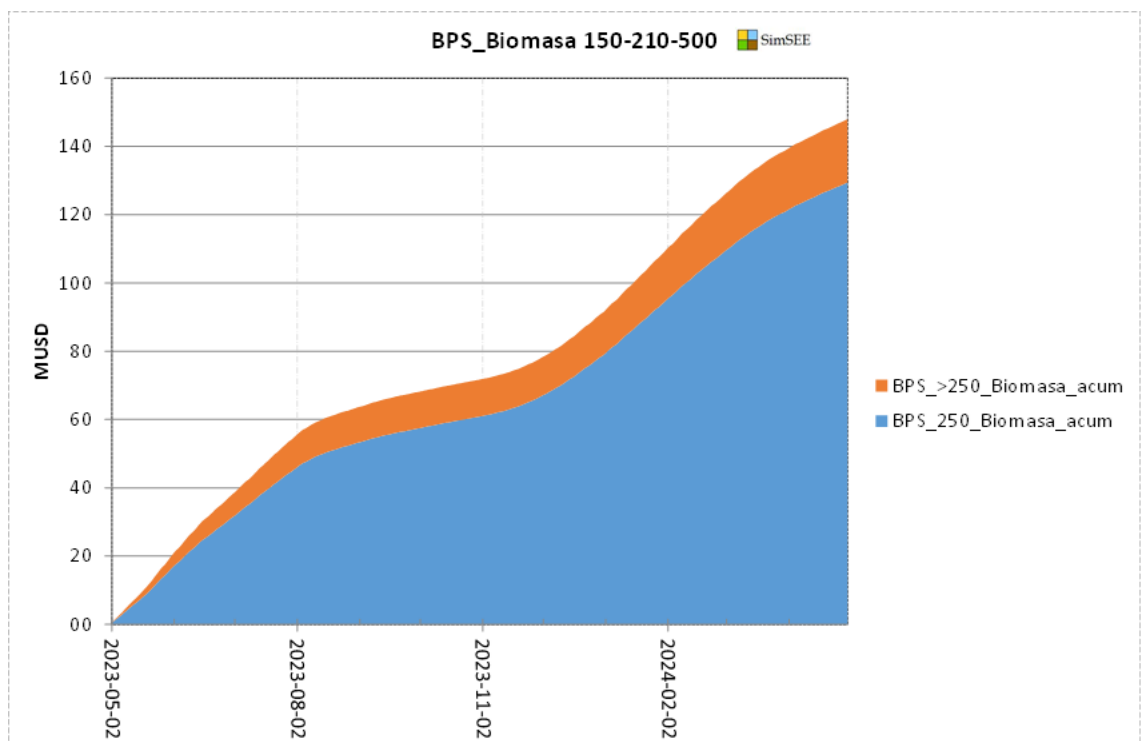
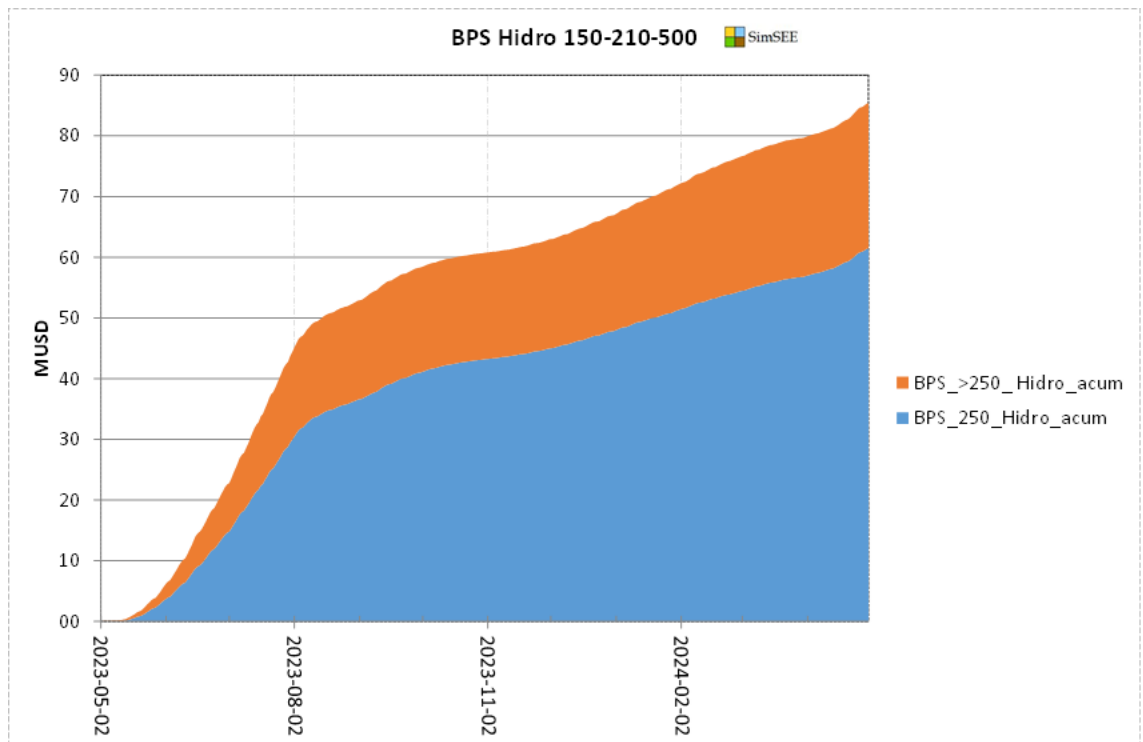


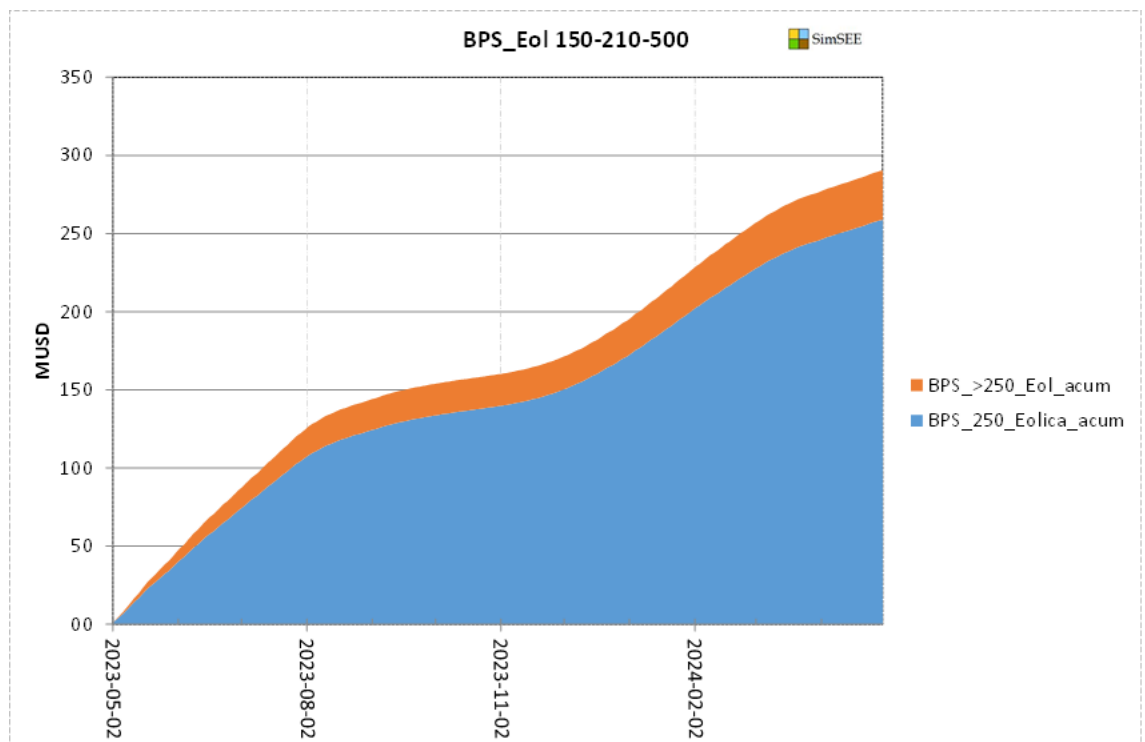
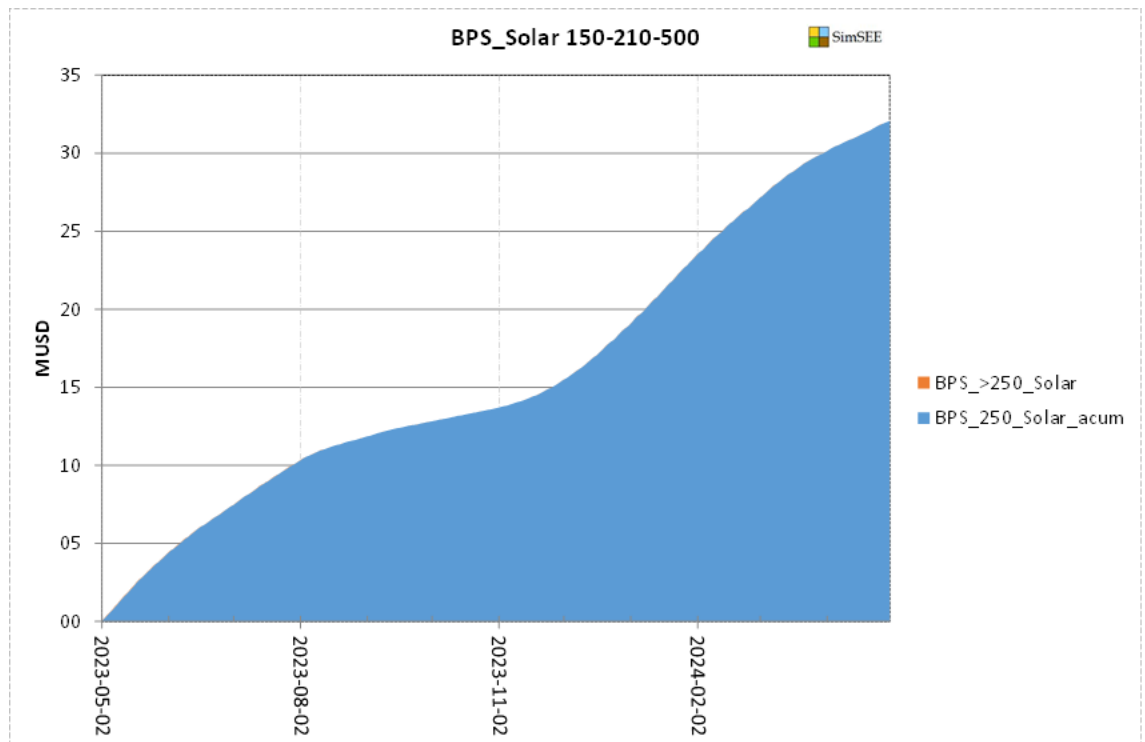




9.1.3.3 Caso penalidades calibradas (150-210-500)







9.2 Información adicional del CMG

Ilustración 2: Costo Marginal por excedencias sin penalidades (0-0-0)

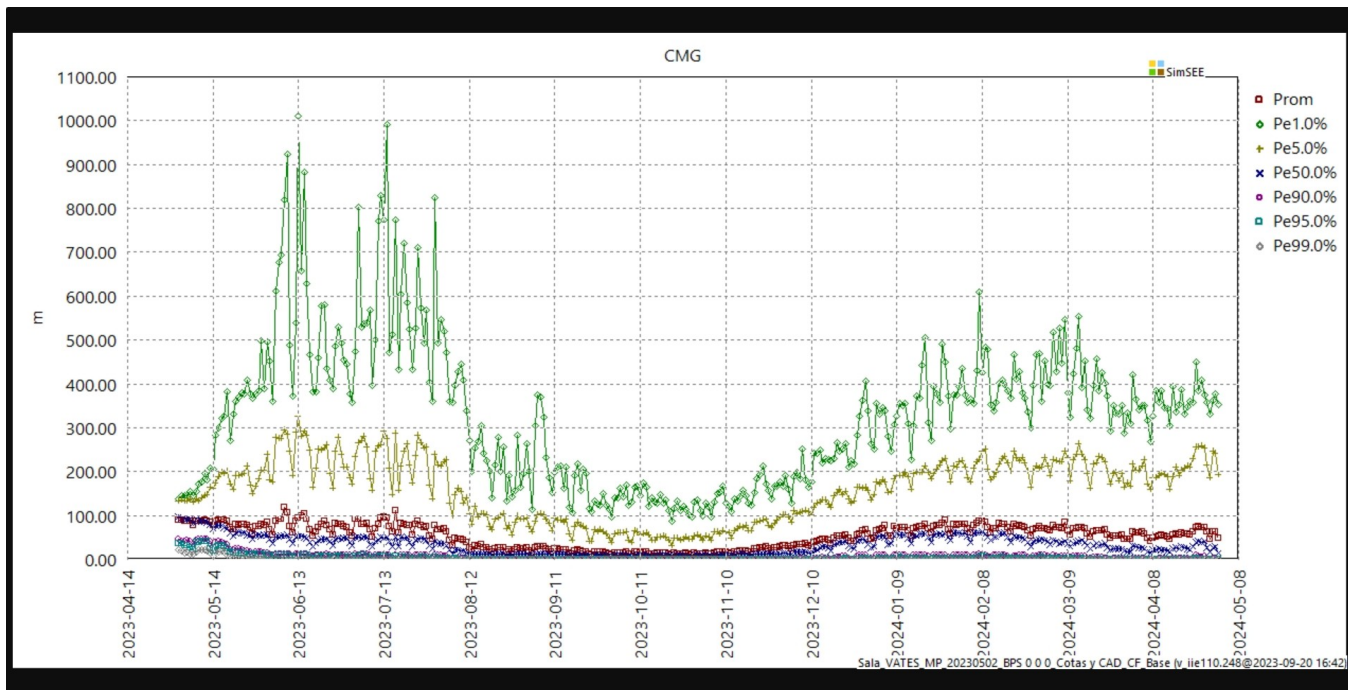


Ilustración 3: Costo marginal por excedencias con penalidades (150-210-500)

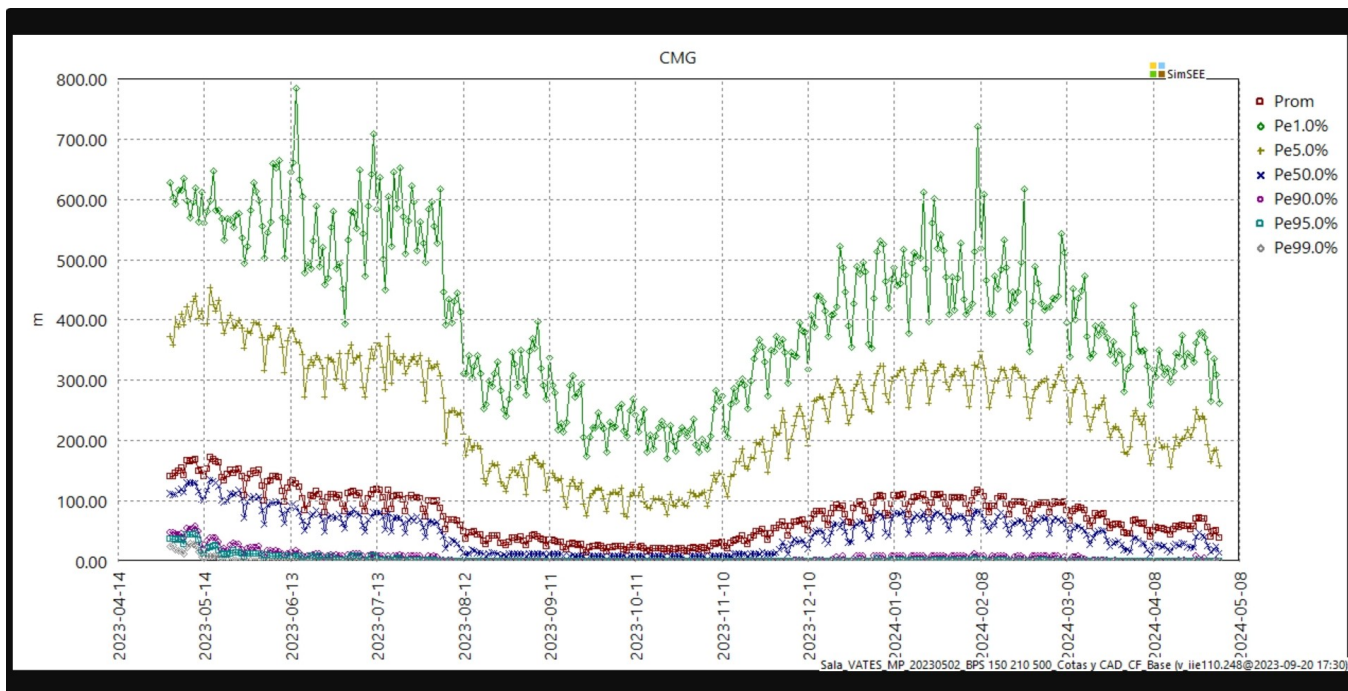
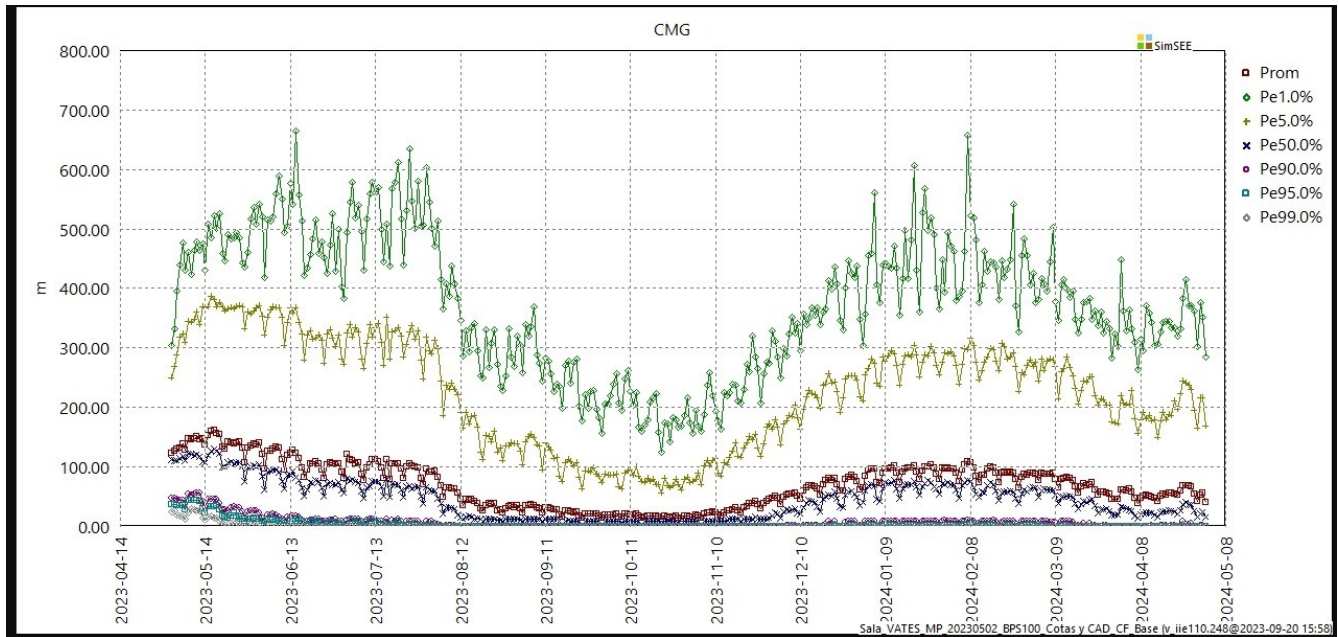
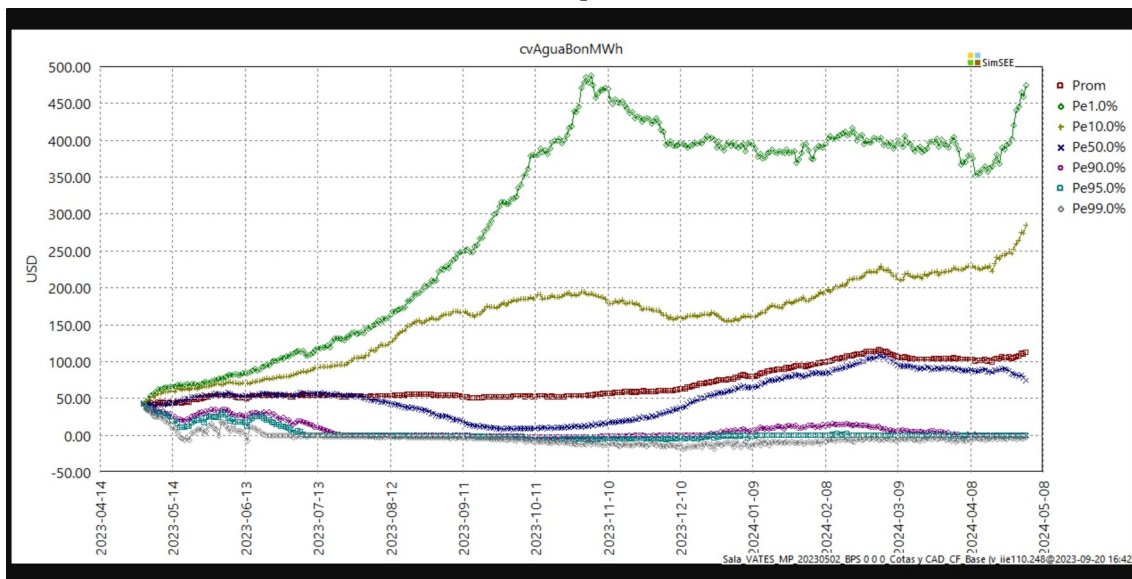


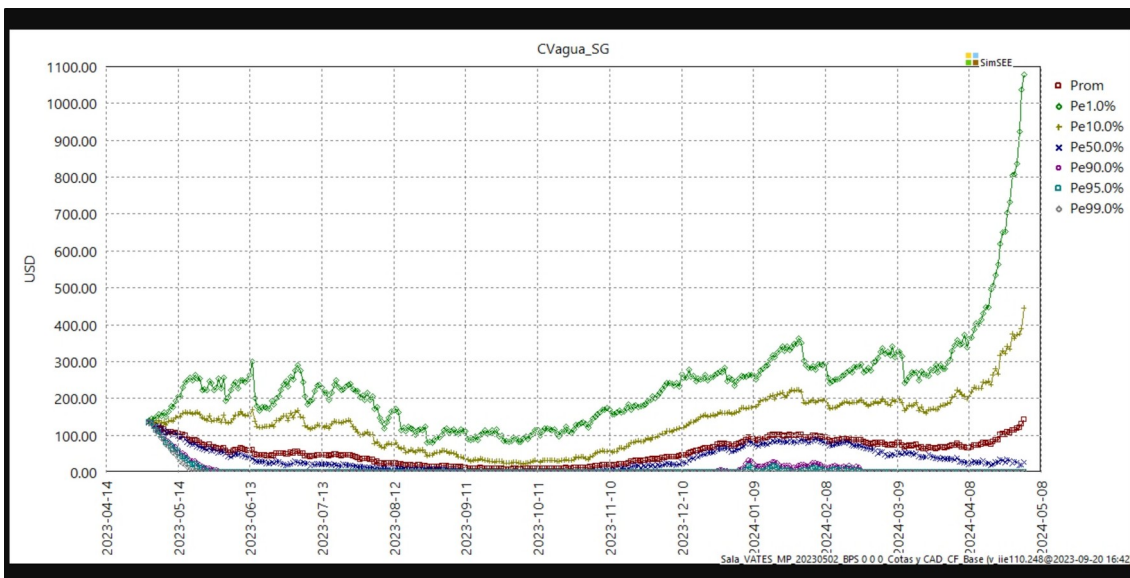
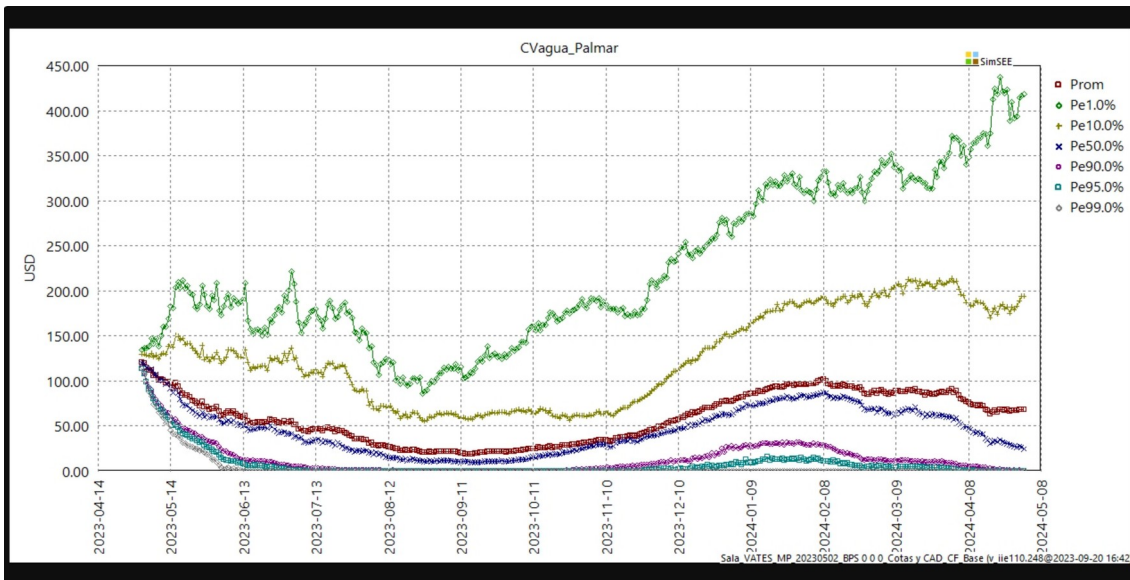
Ilustración 4: Costo marginal por excedencias con penalidades 100-100-100



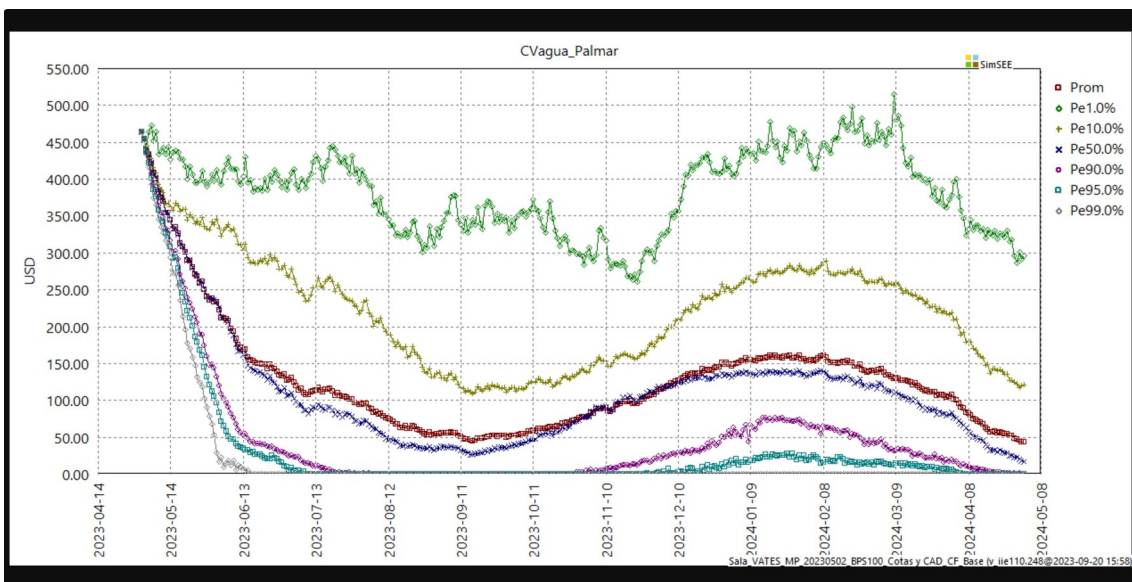
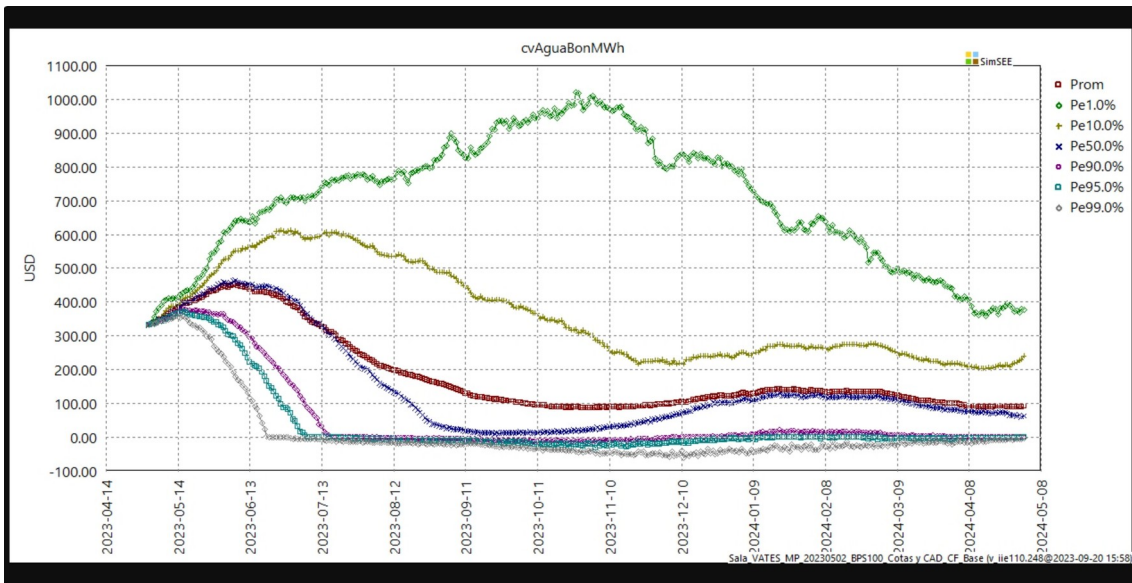
9.3 Gráficas del valor del agua

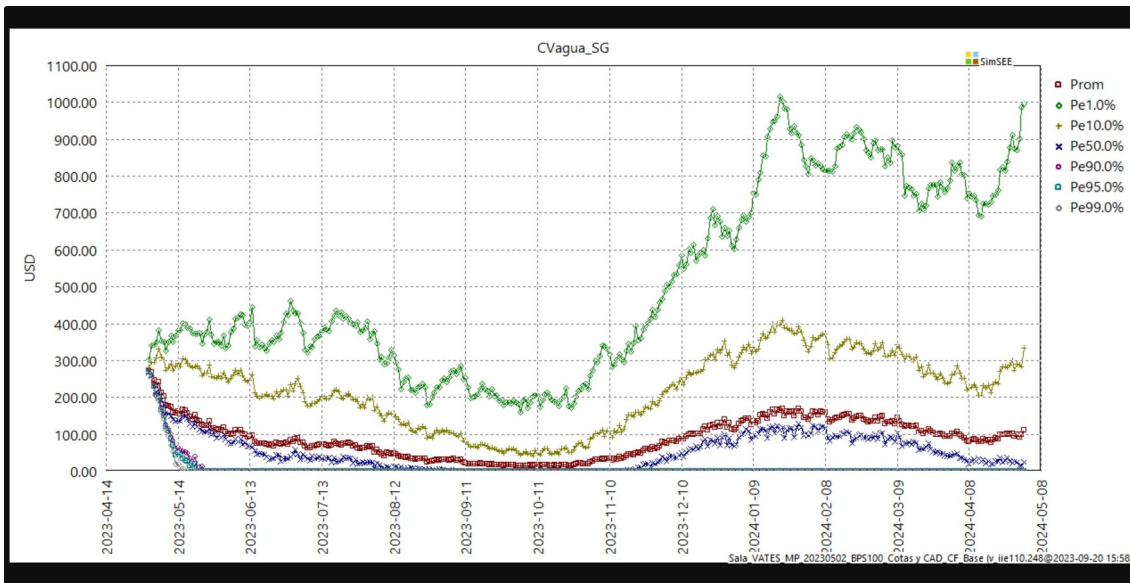
9.3.1 Escenario sin penalidades (0-0-0)



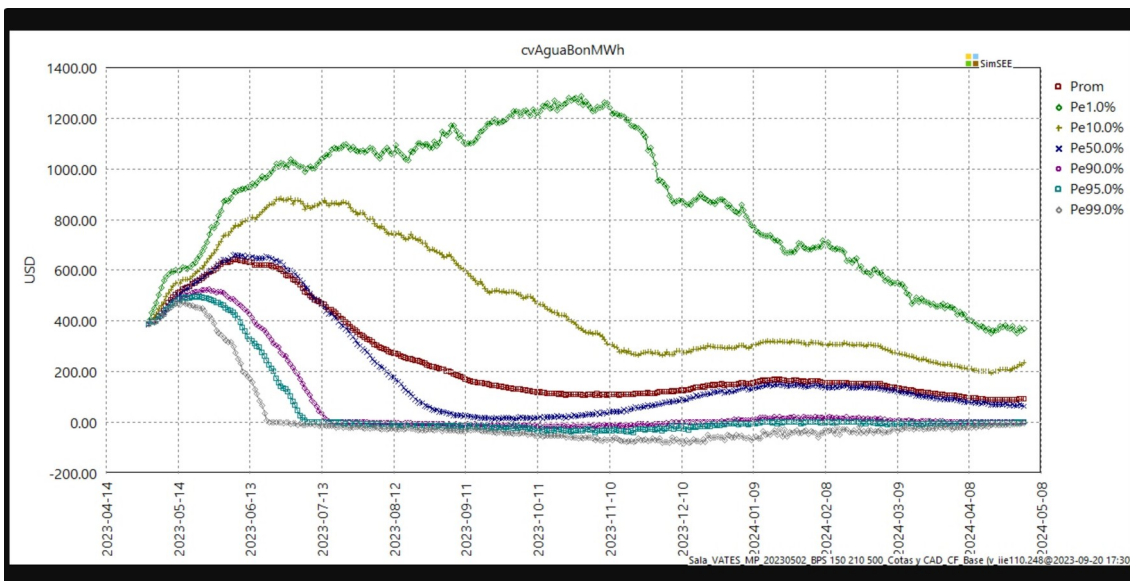


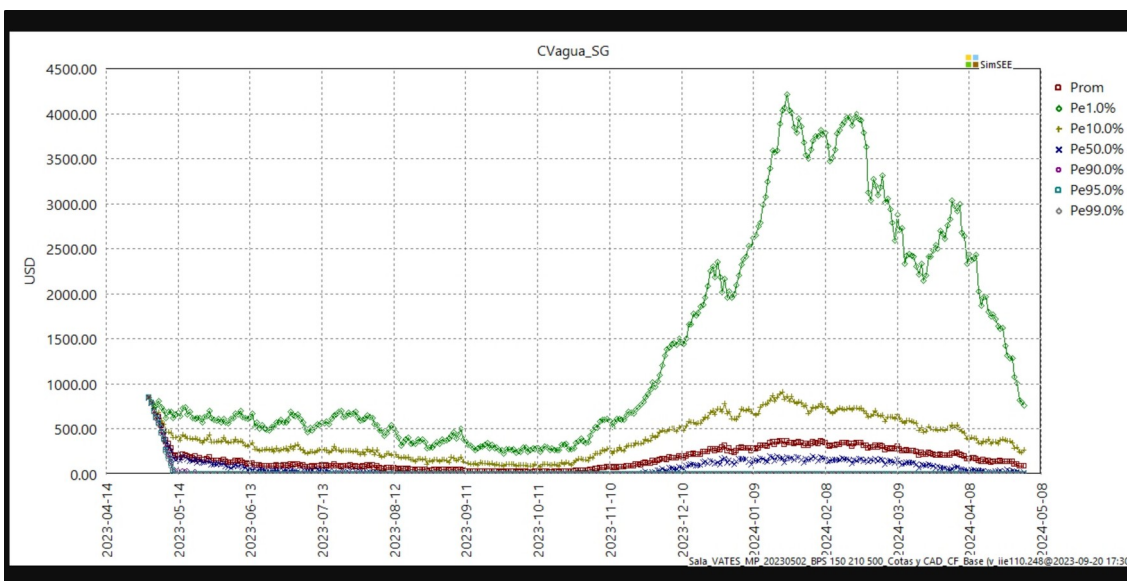
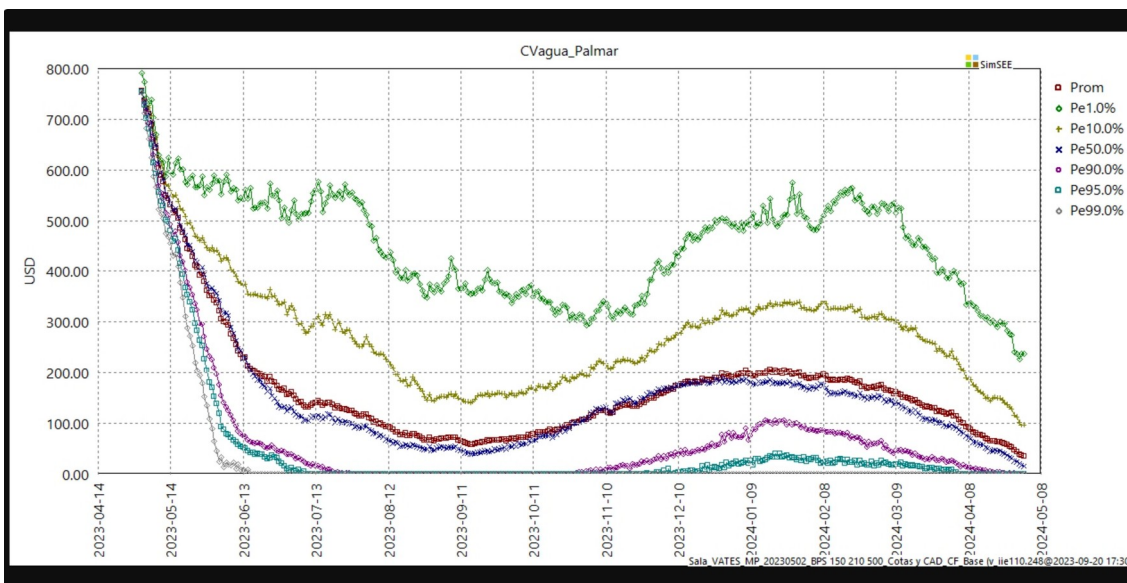
9.3.2 Escenario base (100-100-100)





9.3.3 Escenario penalidad calibrada (150-210-500)





9.4 Generación por fuente

