

Evaluación de las compras y ventas de un proyecto de H₂ al mercado eléctrico uruguayo

Autores: Ezequiel Frontini, Maira Morales, Juan Pablo Villanueva

Instituto de Ingeniería Eléctrica - FING.

Trabajo final curso SimSEE

Montevideo - Uruguay.

Julio 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.

TABLA DE CONTENIDOS

1- Objetivo del trabajo	2
2- Hipótesis de modelado general	2
2.1 Variables globales	3
2.2 Actores	3
3- Metodología	10
3.1 SimRes3	10
4- Casos simulados y resultados del estudio	21
4.1 Caso CF_Base	22
4.2 Caso CF_Base_Comprasin	25
4.3 CASO CF_Base_compraSIN_internacional	28
4.4 Resumen de resultados de simulaciones	31
4.5 Análisis de precisión del método por variación de semillas de simulación	32
4.6 Corridas de chequeo	37
4.7 Corrida adicional con plazo de 1 año	39
5- Conclusiones	41
6- Posibles futuros trabajos	41
6.1 Continuar el análisis con un modelo de largo plazo	41
6.2 Uso de baterías	42
6.3 Réplicas del proyecto	42
7- Referencias y binarios utilizados	42

1- OBJETIVO DEL TRABAJO

El objetivo del trabajo es modelar y simular un proyecto de generación de hidrógeno en una sala simplificada de mediano plazo del mercado eléctrico uruguayo. El proyecto se basa en la creación de un nuevo nodo H2 que incluye 200 MW de energía solar y 200 MW de energía eólica a fin de abastecer con prioridad el consumo de la producción de hidrógeno.

Se trabaja en varias etapas acumulativas. En base a la generación definida se calcula:

1. La demanda del electrolizador a instalar
2. El ingreso por ventas de excedentes al SIN
3. El costo de abastecimiento de energía al proyecto
4. La variación si se permite al nodo la importación de energía del SIN
5. La variación si se permite una apertura al comercio internacional

Análisis de precisión por el método de variación por semillas de simulación y determinación de crónicas necesarias

En SimSEE se trabaja con las siguientes herramientas:

- Editor de salas SimSEEEedit
- Optimizador/Simulador SimSEESimulador
- Post-procesador de resultados SimRes3

2- HIPÓTESIS DE MODELADO GENERAL

Se toma como base la Sala ADME (Sala_VATES_MP_20240423) simplificada en la clase del 23 de abril:

https://simsee.org/simsee/curso2024/Sala_VATES_MP_20240423_simple.zip

En esta sala se implementa la instalación de un proyecto de generación de hidrógeno modelado como un nodo H2 en el que se instalan 200 MW de solar y 200 MW de eólica. La generación de ese conjunto está destinada con prioridad al consumo de la planta de generación de H2 y, en el caso base, los excedentes son ofrecidos con costo 0 para el despacho centralizado del SIN.

2.1 VARIABLES GLOBALES

Se utiliza para la evaluación los horizontes de tiempo planteados para la sala original:

Horizonte de tiempo

	Fecha de Inicio:	Fecha de fin:
Optimización:	2024-04-23 00:00	2024-07-22 00:00
Simulación:	2024-04-23 00:00	2024-07-22 00:00

Imagen 1

Con respecto al paso de tiempo, la sala tiene paso de tiempo diario, con 4 postes horarios como se puede ver a continuación.

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	6

Imagen 2

2.2 ACTORES

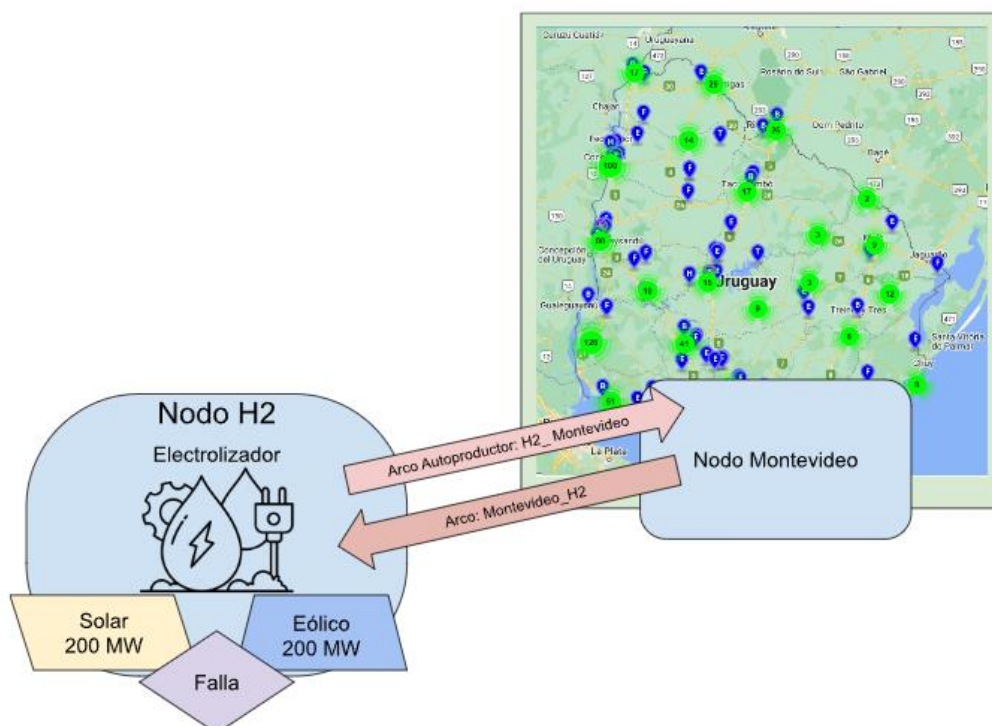


Imagen 3

2.2.1 Red eléctrica

Se agregan los siguientes actores:

- Nodo "H2": Nodo en el que se implementa el proyecto.
- Arco_autoproduccion "H2_Montevideo": Establece la conexión direccional desde el nodo "H2" hacia el nodo "Montevideo" con las características de un arco de autoproducción. El arco autoproduccion prioriza la demanda del nodo "H2" y el excedente lo vende al SIN. La potencia máxima se fija en 400 MW, siendo esta la potencia instalada de eólica y solar en el nodo. En la ficha para la capa 0 se define un factor de disponibilidad de 0 y para la capa 1, el factor de disponibilidad es 1. Se asigna un rendimiento de 99% con el objetivo de que los excedentes de cada nodo se computen en sus respectivos sumideros.

Editando "H2_Montevideo" Arco_autoproduccion

Nubeseable

Parámetros del Arco

Nombre del Arco: H2_Montevideo

Nodo de Entrada: H2

Nodo de Salida: Montevideo

Fichas

Agregar Nueva Ficha Ver Periodicidad Expandida

Fecha de Inicio	Información adicional	Periodica?	Capa			
Auto	PMáx= 400.0; 400.0;...	NO	0			
Auto	PMáx= 400.0; 400.0;...	NO	1			

Editar ficha de "H2_Montevideo" Arco_autoproduccion

Fecha: (yyyy-MM-dd h:nn AMPM) Auto Capa: 1

☐ Periódica?

Parámetros por poste

Potencia máxima [MW]: 400.0; 400.0; 400.0; 400.0 ☐ Usar fuente potencia máxima

Rendimiento [p.u.]: 0.99; 0.99; 0.99; 0.99 Fuente: Cero

Peaje [USD/MWh]: 0.00; 0.00; 0.00; 0.00 Borne:

Disponibilidad

Factor de disponibilidad [p.u.]: 1

Tiempo medio de reparación [h]: 0

Pagos (no considerados en el despacho)

Pago por disponibilidad [USD/MWh]: 0

Arco Gemelo

☐ Considerar arco gemelo

Arco gemelo:

Potencia máxima entre los dos arcos [MW]:

Imagen 4

- Arco "Montevideo H2": Establece la conexión direccional del nodo "Montevideo" a "H2" para permitir el abastecimiento de la demanda del nodo "H2" desde el SIN. En la ficha para la capa 0 se define un factor de disponibilidad de 0. En una nueva capa 2, que no se habilita en primera instancia, el factor de disponibilidad es 1. Se asignó un rendimiento de 99% con el objetivo de que los excedentes de cada nodo se computen en sus respectivos sumideros.

Fecha de Inicio	Información adicional	Periodica?	Capa			
Auto	PMáx= 400,0; 400,0;...	NO	0			
Auto	PMáx= 400,0; 400,0;...	NO	2			

Imagen 5

2.2.2 Eólicas

En el modelo base de sala simplificada tanto la potencia eólica como la solar se modelan como actores dentro de la sección "Eólicas". Estos actores no están representados por un modelo detallado de la generación en función de sus parámetros característicos, sino que se representan con curvas de velocidad-Potencia.

Para la implementación de la generación de energía eólica y solar del nodo "H2" se toman como base estos actores mencionados "eolica_amp" y "solar_amp", con sus respectivas curvas de Velocidad-potencia, Fuente de viento y Borne, etc. y se agrega un actor para la instalación de 200MW de eólica ("Eol_H2") y otro de 200 MW de solar ("Sol_H2") en la capa 1.

Para ambos actores se designa por hipótesis propuesta del estudio un pago por energía no considerada en el despacho de 30 USD/MWh.

Notas Variables Globales Fuentes Actores Archivos Estados Mant						
Red eléctrica Demandas Eólicas Solar Térmicas Hidráulicas Inter						
					Agregar Actor	
Actor	Tipo de actor	Información adicional				
Eol_H2	Parque eólico	v: PEOL_1MW_fc45				
Sol_H2	Parque eólico	v: Psol_1MW_fc17				
eolica_amp	Parque eólico	v: PEOL_1MW_fc45				
solar_amp	Parque eólico	v: Psol_1MW_fc17				

Imagen 6

Editar Unidades Disponibles

[Agregar Ficha](#) [Ver Expandida](#) ?

Fecha de Inicio	Instaladas	En M.Prog.	Periodica?	Capa			
Auto	[0]	[0]	NO	0			
Auto	[200]	[0]	NO	1			

Imagen 7

Editando "Eol_H2" Parque eólico

Nubeseable

Nombre: Latitud: [GoogleMaps](#) ?

Nodo: Longitud:

Potencia autorizada [MW]:

Parámetros del generador

Factor de disponibilidad [p.u.]:

Tiempo de reparación [h]:

Factor de pérdidas por interferencias [p.u.]:

Velocidad mínima [m/s]:

Velocidad máxima [m/s]:

Factor reserva rotante:

[Editar Curva Velocidad-Potencia](#)

☒ Calcular gradiente de inversión

☒ Restar para postizar

Pagos (no considerados en el despacho)

Pago por energía [USD/MWh]:

Pago por disponibilidad [USD/MWh]:

[Editar Unidades Disponibles](#)

Emissiones CO2

Ton-CO2/MWh:

☒ Low Cost Must Run

☐ Clean Development Mechanism

Índice de pagos

Fuente:

Borne:

Fuente de temperatura

Fuente:

Borne:

Referencia [°C]:

Parámetros del recurso

[Exportar .ods](#) [Importar .ods](#)

Mes	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Fac.Vel.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente de viento: (Sólo se puede seleccionar una fuente con paso de sorteo HORARIO)

Borne:

Imagen 8

Editando "Sol_H2" Parque eólico

Nubeseable

Nombre: Latitud: [GoogleMaps](#) ?

Nodo: Longitud:

Potencia autorizada [MW]:

Parámetros del generador

Factor de disponibilidad [p.u.]:

Tiempo de reparación [h]:

Factor de pérdidas por interferencias [p.u.]:

Velocidad mínima [m/s]:

Velocidad máxima [m/s]:

Factor reserva rotante:

[Editar Curva Velocidad-Potencia](#)

☒ Calcular gradiente de inversión

☒ Restar para postizar

Pagos (no considerados en el despacho)

Pago por energía [USD/MWh]:

Pago por disponibilidad [USD/MWh]:

[Editar Unidades Disponibles](#)

Emissiones CO2

Ton-CO2/MWh:

☒ Low Cost Must Run

☐ Clean Development Mechanism

Índice de pagos

Fuente:

Borne:

Fuente de temperatura

Fuente:

Borne:

Referencia [°C]:

Parámetros del recurso

[Exportar .ods](#) [Importar .ods](#)

Mes	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Fac.Vel.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente de viento: (Sólo se puede seleccionar una fuente con paso de sorteo HORARIO)

Borne:

[Guardar](#) [Cancelar](#)

Imagen 9

2.2.3 Demanda

En una primera etapa del estudio, se determina la demanda plana del electrolizador "Dem_H2" a agregar al nodo H2. La misma está dada por la potencia media diaria que con probabilidad de 70 % los generadores asociados al nodo "H2" son capaces de abastecer.

Para obtener el valor de demanda a instalar se crea en SimRes3 un "HistogramaGlobal" de la suma de potencia media diaria producida en el nodo "H2", "PEoISol_H2", definida a través de la siguiente operación crónica:

promedioPonderadoConDurpos_m	PEoISol_H2	idx_Sol_H2_P, idx_Eol_H2_P
------------------------------	------------	----------------------------

Imagen 10

Se toma un número de puntos considerado suficiente para la evaluación. A partir del histograma se toma la potencia del 30%, es decir, aquella para la cual hay un 30% de casos que quedan por debajo de la demanda del electrolizador. El valor de potencia resultante es el que se usará como demanda fija del electrolizador. Para nuestro caso es 102 MW.

Imagen 11

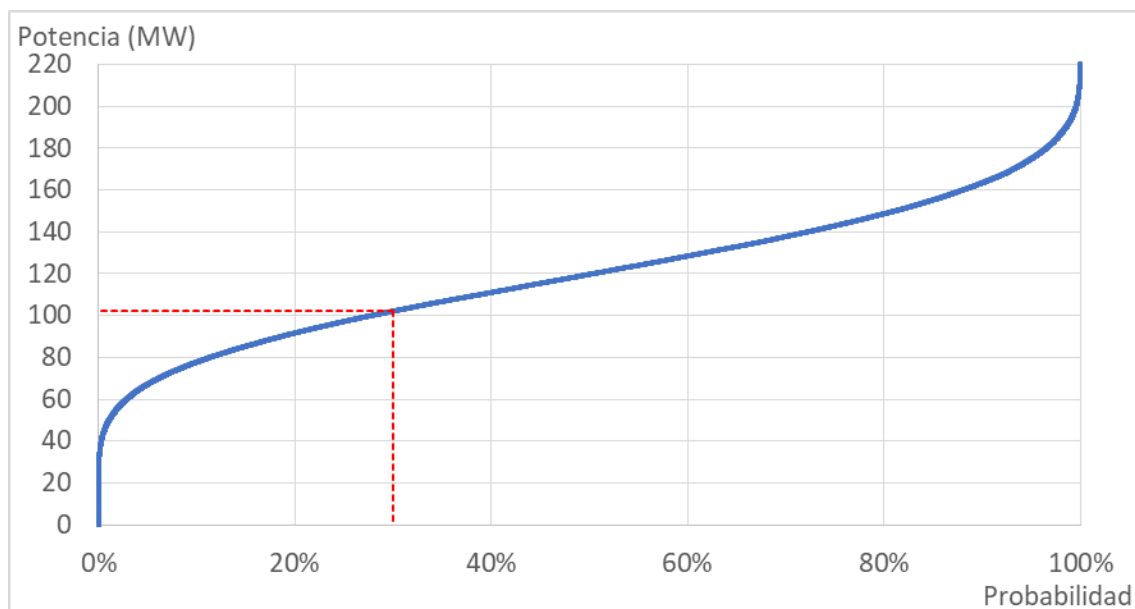


Gráfico 1

Se agrega el actor "Dem_H2" con una demanda horaria de 1 MW definida a través del archivo de demanda horaria "DemH21" y las unidades disponibles de la siguiente manera:

Editar Unidades Disponibles						
Agregar Ficha		Ver Expandida		?		
Fecha de Inicio	Instaladas	En M.Prog.	Periodica?	Capa		
Auto	[0]	[0]	NO	0		
Auto	[102]	[0]	NO	1		

Imagen 13

Editar "Dem_H2" Demanda Detallada

Nubeseable

Nombre: Dem_H2

Nodo: H2

Demanda horaria

Archivo de demanda horaria: DemH21.bin

Crear/Exportar Nubeseable Archi

Componente aleatoria

Fuente [p.u. de la demanda]: Cero

Borne: 1

Escalones de falla

Número de escalones: 1

Escalón	
Profundidad[p.u.]	1
Costo[USD/MWh]	136.44

Índice multiplicador de costos de falla

Fuente: <Ninguna>

Borne:

Factor de reserva [pu]: 0

Prioridad Spot: 0

☒ Sumar para postizar

Guardar Cancelar

Imagen 12

Se designa por hipótesis propuesta del estudio un solo escalón de falla, con costo de 90% del costo variable de los motores de Central Batlle, obteniendo este valor de la fuente usada por el actor "Motores", "CMG_BR_S_CVMot" = $0,9 \cdot 151,6 \frac{\text{USD}}{\text{MWh}}$.

2.2.4 Internacional y otros

Dado que para uno de los casos de estudio se solicita analizar la sensibilidad respecto a la apertura del comercio internacional y que la sala en la que se tiene como base no tiene actores de importación o exportación, se procede a agregarlos desde la sala original Sala_VATES_MP_20240423, con sus respectivas Fuentes. Esto se realiza a través de la herramienta Exportar/Importar actores.

Se agregaron todos los actores de comercio internacional de la sala original:

Actor	Tipo de actor	Información adicional				
Excedentes	Spot de mercado	0,				
ExpInterrumpibleArgentina_Resto	Spot de mercado con detalle horario semanal	0,				
ExpInterrumpibleArgentina_Valle	Spot de mercado con detalle horario semanal	0,				
Exp_ARG	Spot de mercado con detalle horario semanal	0,				
Exp_BR	Spot de mercado postizado	0,				
Exp_BR_ocasionalss	Spot de mercado	0,				
ImpArgentina	Spot de mercado con detalle horario semanal	0,				
ImpMelo	Spot de mercado postizado	0,				
Importacion_Brasil	Spot de mercado	0,				
Importacion_Brasil_Leve	Spot de mercado con detalle horario semanal	0,				
Importacion_Brasil_Media	Spot de mercado con detalle horario semanal	0,				
Importacion_Brasil_Pesada	Spot de mercado con detalle horario semanal	0,				
Motores	Spot de mercado con detalle horario semanal	0,				

Imagen 14

3- METODOLOGÍA

Se realiza una comparación de costos totales de abastecimiento de la energía entre distintos escenarios para el proyecto de producción de hidrógeno. Adicionalmente se elabora un análisis de la precisión del método por variación de semillas de simulación y determinación de crónicas mínimas.

Para la obtención de resultados se utiliza la herramienta SimRes3. Con una configuración tal que, a partir de los resultados de las simulaciones, se calcule y se grafique las variables relevantes para el análisis de los datos en el horizonte temporal evaluado.

3.1 SimRes3

Se detallan las etapas realizadas para la impresión de gráficos y tablas de datos a través de SimRes3, para el cual se trabaja con 3 archivos: "NodoMontevideo", "NodoH2" y "Postes".

3.1.1 Plantilla "NodoMontevideo"

La base de este archivo ya estaba incluida en la sala de base simplificada en clase, la cual tiene como objetivo la impresión de información relevante del Nodo Montevideo.

3.1.1.1 Operaciones crónicas

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	PDem	idx_Demanda_PD, idx_Dem_Nuevos_Consum...	-			
promedioPonderadoConDurpos_m	PFalla	idx_Demanda_PD, idx_Demanda_P, idx_De...	-			
promedioPonderadoConDurpos_m	PTermPunta	idx_Motores_P, idx_PTI_1-6_P, idx_PTI...	-			
promedioPonderadoConDurpos_m	PTermBase	idx_Ciclo_P, idx_CC180_P	-			
promedioPonderadoConDurpos_m	PHid	idx_Baygorria_P, idx_Bonete_P, idx_Pa...	-			
promedioPonderadoConDurpos_m	PBio	idx_Alur_P, idx_Amp_Biomasa_P, idx_Ar...	-			
promedioPonderadoConDurpos_m	PSol	idx_solar_amp_P	-			
promedioPonderadoConDurpos_m	PEol	idx_eolica_amp_P	-			
promedioPonderadoPorDurpos	PSumidero+Dem+Exp	idx_Excedentes_P	-			
promedioPonderadoConDurpos_m	PdeNodoH2	idx_H2_Montevideo_P	-			
promedioPonderadoConDurpos_m	PImp	idx_ImpArgentina_P, idx_ImpMelo_P, id...	-			
promedioPonderadoConDurpos_m	PExp	idx_Exp_ARG_P, idx_Exp_BR_P, idx_Exp_...	-			

Imagen 15

Para el cálculo del costo marginal de generación (cmg) y Potencia de sumidero, sin contar demanda y exportación (PSumidero+Dem+Exp) se utiliza el promedio ponderado por Durpos. Esta operación multiplica los valores de los índices por las duraciones de los postes de tiempo correspondientes, suma estos productos y realiza el cociente por la duración del paso de tiempo.

Para los cálculos de las potencias promedio de los conjuntos de actores relacionados entre sí se utiliza la operación promedio ponderado con Durpos múltiple que es análoga a la operación crónica anterior pero permite tomar múltiples índices.

3.1.1.2 Post operaciones

Tipo de operación	Resultados	Parámetros variables crónicas	Parámetros adicionales					
combinarCronVars	PSumidero+Dem+Exp	PDem, PSumidero+Dem+Exp, PExp	coeficientes= [1, -1, -1]					

Imagen 16

La post operación utilizada para sumar la demanda y las exportaciones fue una combinación de variables crónicas que permite la suma de los diferentes valores multiplicadas por su respectivo coeficiente.

3.1.1.3 Impresión de variables crónicas

En el gráfico "Generación por fuente nodo Montevideo" generado se muestra:

- Potencia media diaria de generación por fuente del Nodo Montevideo como áreas apiladas en el eje Y primario
- Potencia media diaria de demanda del nodo Montevideo y Potencia de sumidero+demanda+exportación también en el eje Y primario como gráfico de dispersión.
- Costo marginal promedio diario del nodo Montevideo como gráfico de dispersión en el eje Y secundario.

Se le realiza agregados en función de las nuevas incorporaciones de la sala:

- "PdeNodoH2": Potencia desde el nodo H2 hacia el nodo Montevideo
- "Pimp": Potencia de importaciones de Argentina y Brasil
- "PSumidero+Dem+Exp": Se agrega a esta variable las exportaciones a Argentina y Brasil

3.1.1.4 CompararValoresMultiplesCronVars

Edición de CompararValoresMultiplesCronVars

Nombre de la Hoja: GPF nodo Montevideo ?

Título del gráfico: Generación por fuente nodo Montevideo

Eje Y (Primario)

Título: [MW-medios] Formato: 8 2 Mín: 0 ☒ Auto Máx.: 0 ☒ Auto.

Eje Y (Secundario)

Título: [US\$/MWh] Formato: 8 2 Mín: 0 ☒ Auto Máx.: 0 ☒ Auto.

Variables crónicas

CronVar: <Seleccione una Variable Crónica> Agregar

Tipo de Gráfico: ☒ Áreas Apiladas ☐ Dispersión

Graficar en Eje: ☐ Primario ☐ Secundario

Color: Auto

Eje x

Título:

☒ Tiempo ☐ PE ☐ CronVar <Seleccione una Variable Crónica>

Valores a Comparar:

☒ Promedios ☐ Desviaciones Estandar ☐ Probabilidades de Excedencia ☐ Valores en Riesgo ☐ Todas las crónicas

Opciones

☒ Graficar? ☒ Pre-Ordenar

PE[p.u.]: 0

PE1[p.u.]: 0

Variable crónica	Tipo de Gráfico	Eje				
PBio	are	pri				
PSol	are	pri				
PEol	are	pri				
PHid	are	pri				
PTermBase	are	pri				
PTermPunta	are	pri				
PdeNodoH2	are	pri				
Plmp	are	pri				
PFalla	are	pri				
PDem	dis	pri				
PSumidero+Dem+Exp	dis	pri				
cmg	dis	sec				

Guardar Cancelar

Imagen 17

3.1.2 Plantilla “NodoH2”

Se crea esta plantilla con el objetivo de imprimir información relevante del Nodo “H2” para la evaluación.

3.1.2.1 Operaciones crónicas

Tipo de operación	Resultados	Parámetros índice	Parámetros adicionales					
promedioPonderadoPorDurpos	cmg_H2	idx_H2_cmg	-					
promedioPonderadoPorDurpos	PDem_H2	idx_Dem_H2_P	-					
promedioPonderadoPorDurpos	PDem_PD_H2	idx_Dem_H2_PD	-					
promedioPonderadoConDurpos_m	PFalla_H2	idx_Dem_H2_P, idx_Dem_H2_PD	-					
promedioPonderadoPorDurpos	PSol_H2	idx_Sol_H2_P	-					
promedioPonderadoPorDurpos	PEol_H2	idx_Eol_H2_P	-					
promedioPonderadoConDurpos_m	PEolSol_H2	idx_Sol_H2_P, idx_Eol_H2_P	-					
Pasar_indices_a_valores_horarios	PDem_PD_H2_horaria, PSol_H2_horaria, ...	idx_Dem_H2_PD, idx_Sol_H2_P, idx_Eol_...	-					
promedioPonderadoConDurpos_m	PArco_H2_Montevideo	idx_H2_Montevideo_P	-					
promedioPonderadoConDurpos_m	PArco_Montevideo_H2	idx_Montevideo_H2_P	-					
sumaDobleProductoConDurposTopeado	IngresoSpot_H2	idx_H2_Montevideo_P, idx_Montevideo_spot	TopeDe2= 250					
promedioPonderadoPorDurpos	Precio_Spot	idx_Montevideo_spot	-					
promedioPonderadoPorDurpos	CF_H2	idx_Dem_H2_Costo1	-					
promedioPonderadoConDurpos_m	CEG_H2	idx_Eol_H2_Ingreso_PorEnergia, idx_So...	-					
sumaDobleProductoConDurposTopeado	CompraSpot_H2	idx_Montevideo_H2_P, idx_Montevideo_spot	TopeDe2= 250					
promedioPonderadoPorDurpos	excedentes_Montevideo	idx_Excedentes_P	-					
promedioPonderadoConDurpos_m	P_exp_Arg	idx_Exp_ARG_P, idx_ExpInterrumpibleAr...	-					
promedioPonderadoConDurpos_m	P_imp_Arg	idx_ImpArgentina_P	-					
promedioPonderadoConDurpos_m	P_imp_Br	idx_ImpMelo_P, idx_Importacion_Brasil...	-					
promedioPonderadoConDurpos_m	P_exp_Br	idx_Exp_BR_P, idx_Exp_BR_ocasionalss_P	-					

Imagen 18

En este caso para las potencias utiliza las mismas operaciones crónicas descritas en la plantilla “NodoMontevideo”, con sus variables múltiples donde corresponda. Para los costos de falla (CF_H2), energía generada (CEG_H2) y precio Spot también se utiliza promedio ponderado por Durpos para los índices correspondientes, múltiple en el caso de CEG_H2.

Para el cálculo de los ingresos por venta y compra al Spot se utiliza la operación suma doble producto con Durpos topeado en donde la potencia comprada o vendida es multiplicada por el valor mínimo entre el tope y el precio Spot, y finalmente multiplicada por la duración del paso de tiempo del poste.

3.1.2.2 Post operaciones

Tipo de operación	Resultados	Parámetros variables crónicas	Parámetros adicionales					
acumularCronVar	IngresoAcumSpot_H2	IngresoSpot_H2	-					
cronVarPorReal	IngresoAcumSpot_H2	IngresoAcumSpot_H2	aReal= 1E-6					
combinarCronVars	CAE_H2	CF_H2, IngresoSpot_H2, CompraSpot_H2,...	coeficientes= [1, -1, 1, 1]					
cronVarPorReal	IngresoSpot_H2	IngresoSpot_H2	aReal= 0.001					
cronVarPorReal	CompraSpot_H2	CompraSpot_H2	aReal= 0.001					
cronVarPorReal	CAE_H2	CAE_H2	aReal= 0.001					
cronVarPorReal	CF_H2	CF_H2	aReal= 0.001					
cronVarPorReal	CEG_H2	CEG_H2	aReal= 0.001					
acumularCronVar	CAE_acum_H2	CAE_H2	-					
cronVarPorReal	CAE_acum_H2	CAE_acum_H2	aReal= 0.001					

Imagen 19

Para el cálculo de CAE_H2 se utiliza la post operación combinación de variables crónicas, ya descrita. Luego se utiliza la función acumulación de variables crónicas para calcular los totales de ingresos por ventas y compras al SIN, y CAE_H2, en esta operación se incluye un actualizador de valor. Este actualizador se asume que es de 10% anual y se calcula el factor de descuento para cada día del año. Además para visualizar mejor los datos en los gráficos se utiliza la post operación variables crónicas por número real que muestra los valores en miles o millones según corresponda.

3.1.2.3 Impresión de variables crónicas

En el gráfico "Potencia nodo H2" generado se muestra:

- Potencia media diaria de generación solar y eólica, por el arco "Montevideo-H2" y de falla como áreas apiladas en el eje Y primario
- Potencia media diaria de demanda del nodo "H2" también en el eje Y primario como gráfico de dispersión.

3.1.2.4 CompararValoresMultiplesCronVars

Edición de CompararValoresMultiplesCronVars

Nombre de la Hoja: ?

Título del gráfico:

Eje Y (Primario)

Título: Formato: Mín: ☐ Auto Máx.: ☒ Auto.

Eje Y (Secundario)

Título: Formato: Mín: ☒ Auto Máx.: ☒ Auto.

Variables crónicas

CronVar:

Tipo de Gráfico: ☒ Áreas Apiladas ☐ Dispersión

Graficar en Eje: ☐ Primario ☐ Secundario

Color:

Eje x

Título:

☒ Tiempo ☐ PE ☐ CronVar

Valores a Comparar:

☒ Promedios ☐ Desviaciones Estandar ☐ Probabilidades de Excedencia ☐ Valores en Riesgo ☐ Todas las crónicas

Opciones

☒ Graficar? ☒ Pre-Ordenar

PE[p.u.]: PEI[p.u.]:

Variable crónica	Tipo de Grafico	Eje				
PSol_H2	are	pri				
PEol_H2	are	pri				
PArco_Montevideo_H2	are	pri				
PFalla_H2	are	pri				
PDem_PD_H2	dis	pri				

Imagen 20

En el gráfico "Potencia al SIN y precio Spot" generado se muestra:

- Potencia media diaria que pasa por el arco "H2_Montevideo" como gráfico de dispersión en el eje Y primario
- Precio Spot del nodo "Montevideo" medio diario en el eje Y secundario.

3.1.2.5 CompararValoresMultiplesCronVars

Edición de CompararValoresMultiplesCronVars

Nombre de la Hoja: ?

Título del gráfico:

Eje Y (Primario)

Título: Formato: Mín: ☐ Auto Máx.: ☒ Auto.

Eje Y (Secundario)

Título: Formato: Mín: ☐ Auto Máx.: ☒ Auto.

Variables crónicas

CronVar:

Tipo de Gráfico: ☒ Áreas Apiladas ☐ Dispersión

Graficar en Eje: ☐ Primario ☐ Secundario

Color:

Eje x

Título:

☒ Tiempo ☐ PE ☐ CronVar

Valores a Comparar:

☒ Promedios ☐ Desviaciones Estandar ☐ Probabilidades de Excedencia ☐ Valores en Riesgo ☐ Todas las crónicas

Opciones

☒ Graficar? ☒ Pre-Ordenar

PE[p.u.]: PE1[p.u.]:

Variable crónica	Tipo de Grafico	Eje				
PArco_H2_Montevideo	dis	pri				
Precio_Spot	dis	sec				

Imagen 21

En el gráfico "Ingresos por ventas al SIN" generado se muestra:

- Ingresos diarios del nodo "H2" por venta al SIN al Spot de energía que pasa por el arco "H2_Montevideo" como gráfico de dispersión en el eje Y primario
- Valores acumulados del punto anterior en el eje Y secundario.

3.1.2.6 CompararValoresMultiplesCronVars

Edición de CompararValoresMultiplesCronVars

Nombre de la Hoja: Ingresos por ventas al SIN ?

Título del gráfico: Ingresos por ventas al SIN

Eje Y (Primario)

Título: Diario [mUS\$] Formato: 8 0 Mín: 0 Auto Máx.: 0 Auto.

Eje Y (Secundario)

Título: Acumulado [MUS\$] Formato: 8 0 Mín: 0 Auto Máx.: 0 Auto.

Variables crónicas

CronVar: <Seleccione una Variable Crónica> Agregar

Tipo de Gráfico: ☒ Áreas Apiladas ☐ Dispersión

Graficar en Eje: ☐ Primario ☐ Secundario

Color: Auto

Eje x

Título:

☒ Tiempo ☐ PE ☐ CronVar <Seleccione una Variable Crónica>

Valores a Comparar:

☒ Promedios ☐ Desviaciones Estandar ☐ Probabilidades de Excedencia ☐ Valores en Riesgo ☐ Todas las crónicas

Opciones

☒ Graficar? ☒ Pre-Ordenar

PE[p.u.]: 0 PE1[p.u.]: 0

Variable crónica	Tipo de Gráfico	Eje				
IngresoSpot_H2	dis	pri				
IngresoAcumSpot_H2	dis	sec				

Guardar Cancelar

Imagen 22

En el gráfico "CAE" generado se muestran las diferentes componentes del costo de abastecimiento de la energía para el proyecto:

- CEG_H2, promedio diario del costo de la energía generada de eólica y solar del nodo H2 como gráfico de dispersión en el eje Y primario
- CF_H2, promedio diario del costo de falla de la Dem_H2 como gráfico de dispersión en el eje Y primario
- CompraSpot_H2, promedio diario del costo de compra al SIN al precio Spot como gráfico de dispersión en el eje Y primario
- IngresoSpot_H2, promedio diario del ingresos por venta al SIN al precio Spot de energía que pasa por el arco "H2_Montevideo" como gráfico de dispersión en el eje Y primario
- CAE_H2, costo de abastecimiento de la energía como gráfico de dispersión en el eje Y primario calculado como $CEG_H2 + CF_H2 + CompraSpot_H2 - IngresoSpot_H2$
- Valores acumulados del punto anterior en el eje Y secundario.

3.1.2.7 CompararValoresMultiplesCronVars

Edición de CompararValoresMultiplesCronVars

Nombre de la Hoja: CAE ?

Título del gráfico: CAE

Eje Y (Primario)

Título: Diario [mUS\$] Formato: 8 2 Mín: 0 Auto Máx.: 130 Auto.

Eje Y (Secundario)

Título: Acumulado [MUS\$] Formato: 8 2 Mín: 0 Auto Máx.: 0 Auto.

Variables crónicas

CronVar: <Seleccione una Variable Crónica> Agregar

Tipo de Gráfico: ☒ Áreas Apiladas ☐ Dispersión

Graficar en Eje: ☐ Primario ☐ Secundario

Color: Auto

Eje x

Título:

☒ Tiempo ☐ PE ☐ CronVar <Seleccione una Variable Crónica>

Valores a Comparar:

☒ Promedios ☐ Desviaciones Estandar ☐ Probabilidades de Excedencia ☐ Valores en Riesgo ☐ Todas las crónicas

Opciones

☒ Graficar? ☒ Pre-Ordenar

PE[p.u.]: 0 PE1[p.u.]: 0

Variable crónica	Tipo de Gráfico	Eje				
CEG_H2	dis	pri				
CF_H2	dis	pri				
CompraSpot_H2	dis	pri				
IngresoSpot_H2	dis	pri				
CAE_H2	dis	pri				
CAE_acum_H2	dis	sec				

Guardar Cancelar

Imagen 23

En el gráfico "CAE simplificado" generado se muestran una simplificación del gráfico anterior:

- CAE_H2, costo de abastecimiento de la energía como gráfico de dispersión en el eje Y primario calculado como $CEG_H2 + CF_H2 + CompraSpot_H2 - IngresoSpot_H2$
- Valores acumulados del punto anterior en el eje Y secundario.

3.1.2.8 CompararValoresMultiplesCronVars

Edición de CompararValoresMultiplesCronVars

Nombre de la Hoja: CAE simplificado ?

Título del gráfico: CAE simplificado

Eje Y (Primario)

Título: Diario [mUS\$] Formato: 8 2 Mín: 0 Auto Máx.: 130 Auto.

Eje Y (Secundario)

Título: Acumulado [MUS\$] Formato: 8 2 Mín: 0 Auto Máx.: 0 Auto.

Variables crónicas

CronVar: <Seleccione una Variable Crónica> Agregar

Tipo de Gráfico: ☒ Áreas Apiladas ☐ Dispersión

Graficar en Eje: ☐ Primario ☐ Secundario

Color: Auto

Eje x

Título:

☒ Tiempo ☐ PE ☐ CronVar <Seleccione una Variable Crónica>

Valores a Comparar:

☒ Promedios ☐ Desviaciones Estandar ☐ Probabilidades de Excedencia ☐ Valores en Riesgo ☐ Todas las crónicas

Opciones

☒ Graficar? ☒ Pre-Ordenar

PE[p.u.]: 0 PE1[p.u.]: 0

Variable crónica	Tipo de Gráfico	Eje				
CAE_H2	dis	pri				
CAE_acum_H2	dis	sec				

Guardar Cancelar

Imagen 24

En el gráfico "Intercambio Arg y Br" generado se muestra el promedio diario de Potencia intercambiada (importación y exportación) tanto para Argentina como para Brasil, como gráfico de dispersión en el eje Y primario.

3.1.2.9 CompararValoresMultipleCronVars

Edición de CompararValoresMultipleCronVars

Nombre de la Hoja: Intercambio Arg y Br ?

Título del gráfico: Intercambio Arg y Br

Eje Y (Primario)

Título: [MW-medios] Formato: 8 2 Mín: 0 ☒ Auto Máx.: 0 ☒ Auto.

Eje Y (Secundario)

Título: Formato: 8 2 Mín: 0 ☒ Auto Máx.: 0 ☒ Auto.

Variables crónicas

CronVar: <Seleccione una Variable Crónica> Agregar

Tipo de Gráfico: ☒ Areas Apiladas ☐ Dispersión

Graficar en Eje: ☐ Primario ☐ Secundario

Color: Auto

Eje x

Título:

☒ Tiempo ☐ PE ☐ CronVar <Seleccione una Variable Crónica>

Valores a Comparar:

☒ Promedios ☐ Desviaciones Estandar ☐ Probabilidades de Excedencia ☐ Valores en Riesgo ☐ Todas las crónicas

Opciones

☒ Graficar? ☒ Pre-Ordenar

PE[p.u.]: 0 PE1[p.u.]: 0

Variable crónica	Tipo de Gráfico	Eje				
P_exp_Arg	dis	pri				
P_imp_Arg	dis	pri				
P_exp_Br	dis	pri				
P_imp_Br	dis	pri				

Guardar Cancelar

Imagen 25

Además se ve en SimRes3 impresiones adicionales que se utilizaron de respaldo pero que no se utilizan en el informe por presentar datos redundantes: "Excedentes nodo Montevideo" y "PEol+Psol nodo H2 horario"

Los gráficos obtenidos se podrán ver en cada uno de los casos evaluados.

3.1.3 Plantilla "Postes"

Se crea esta plantilla con el objetivo de imprimir información de chequeo del caso de estudio. Ver punto 4.6.

4- CASOS SIMULADOS Y RESULTADOS DEL ESTUDIO

Para la evaluación se trabaja con 3 casos, los cuales se ven representados en el Simulador y que van sumando capas al pasar de uno al otro.

Nombre	--
CF_Base	      
CF_Base_compraSIN	      
CF_Base_compraSIN_internacional	      

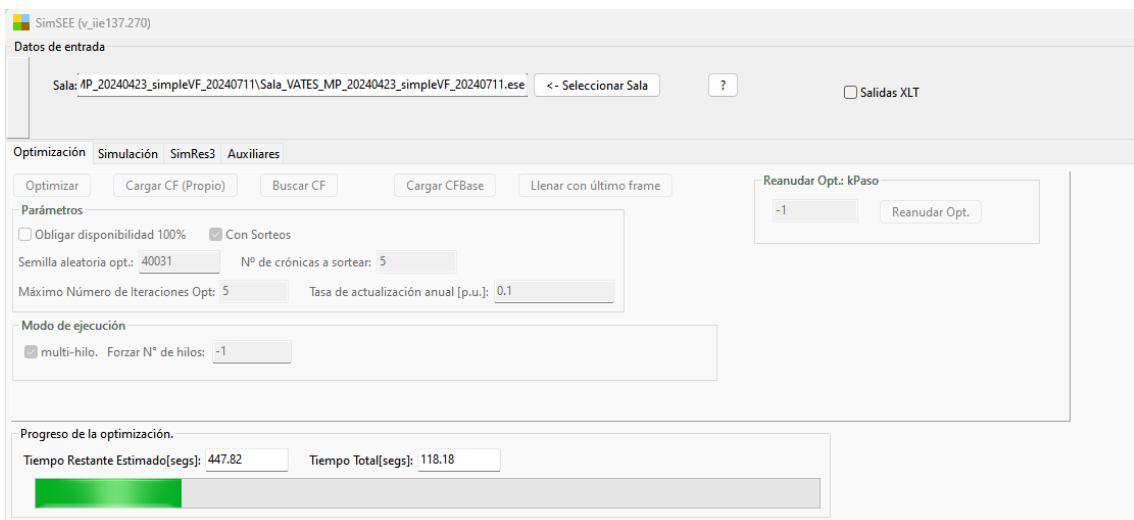
Imagen 26

Para el caso CF_Base se habilita la capa 1, en la que se incorpora a la sala base el Nodo "H2", Arco_autoproduccion "H2_Montevideo", Demanda "Dem_H2", Eólica "Eol_H2" y Solar "Sol_H2".

Para el caso CF_Base_compraSIN se toma el caso anterior y se habilita el Arco "Montevideo_H2", de manera de habilitar ventas desde el SIN hacia el nodo "H2".

El tercer caso, CF_Base_compraSIN_internacional, se toma nuevamente el caso anterior y se suma la apertura al comercio internacional, agregando los actores mencionados en el punto "Internacional y Otros".

Se corren las Optimizaciones para cada caso con los siguientes parámetros:



SimSEE (v.137.270)

Datos de entrada

Sala: MP_20240423_simpleVF_20240711\Sala_VATES_MP_20240423_simpleVF_20240711.esa <- Seleccionar Sala ? ☐ Salidas XLT

Optimización Simulación SimRes3 Auxiliares

Optimizar Cargar CF (Propio) Buscar CF Cargar CFBase Llenar con último frame

Parámetros

☐ Obligar disponibilidad 100% ☒ Con Sorteos

Semilla aleatoria opt: 40031 N° de crónicas a sortear: 5

Máximo Número de Iteraciones Opt: 5 Tasa de actualización anual [p.u.]: 0.1

Modo de ejecución

☒ multi-hilo. Forzar N° de hilos: -1

Reanudar Opt: kPaso

-1 Reanudar Opt.

Progreso de la optimización.

Tiempo Restante Estimado[segs]: 447.82 Tiempo Total[segs]: 118.18

Imagen 27

A continuación se presentan los resultados de las simulaciones obtenidas para cada uno de los casos descritos previamente.

Las mismas se corrieron utilizando sus respectivas optimizaciones y con 1000 crónicas cada una, partiendo de la semilla por defecto de la sala, 10031.

4.1 CASO CF_Base

SimSEE (v. iie137.270)

Datos de entrada

Sala: MP_20240423_simpleVF_20240711\Sala_VATES_MP_20240423_simpleVF_20240711.esa <- Seleccionar Sala ? ☐ Salidas XLT

Optimización Simulación SimRes3 Auxiliares

Simular

Parámetros

Semilla al ? a sim.: 10031 N° Crónicas a simular: 1000 ☒ Escribir solo variables usadas en SimRes3

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]: 41.671

Progreso de la Simulación:

Resultados globales.

CF_VE[MUSD]: 299.84
CF_VaR(5%)[MUSD]: 416.11
CF_CVaR(5%)[MUSD]: 447.92
cdp_VE[MUSD]: 194.75

Imagen 28

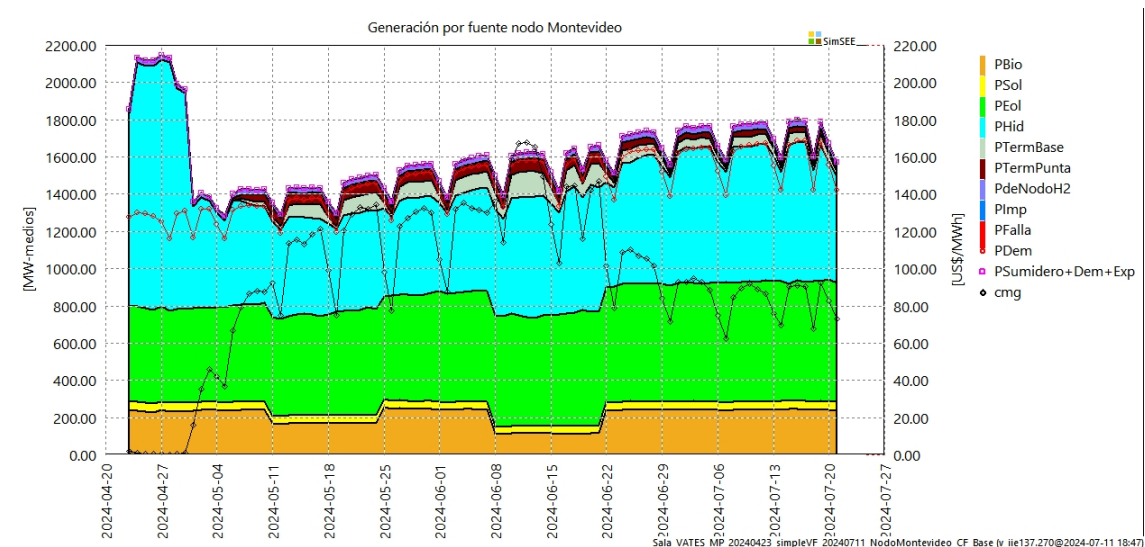


Gráfico 2

Durante los primeros días de la simulación se pueden ver datos poco habituales de una alta cantidad de potencia hidráulica vertida, la cual es acompañada con costos marginales tendiendo a cero. Estos valores se pueden asignar a la situación de inundaciones que se presentó durante ese período en el litoral del país que llevaron a la necesidad de verter agua de las represas.

Para el resto de los días se puede ver que hay potencia que llega desde el nodo "H2" al nodo "Montevideo". En este escenario no está habilitado el comercio internacional ni ventas Spot al nodo "H2".

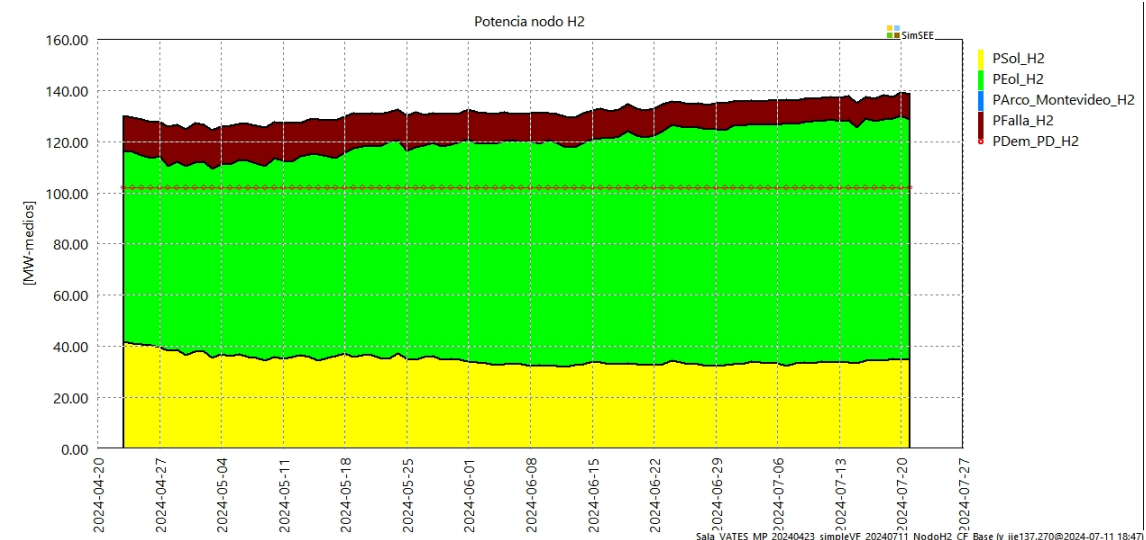


Gráfico 3

En el Gráfico 3 se observa la potencia media diaria del nodo “H2”, se puede ver que en promedio la energía producida sobrepasa a la demanda del electrolizador, pero también queda evidenciado que hay crónicas para las que en promedio hay momentos en los que hay falla.

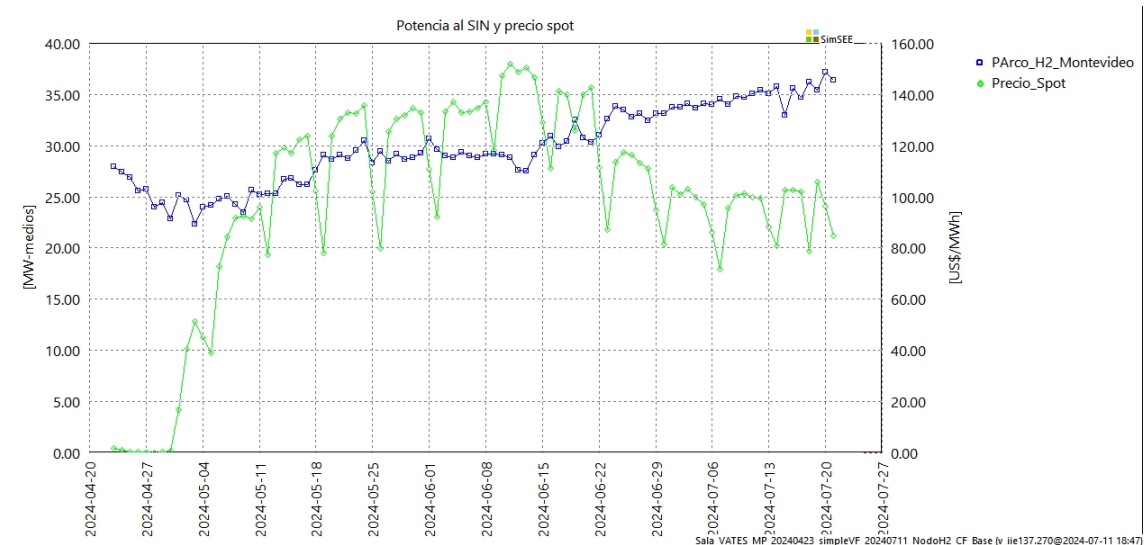


Gráfico 4

El Gráfico 4 es concordante con lo mencionado previamente en el nodo “Montevideo” para los primeros días simulados, en donde también se ven precios Spot tendiendo a cero.

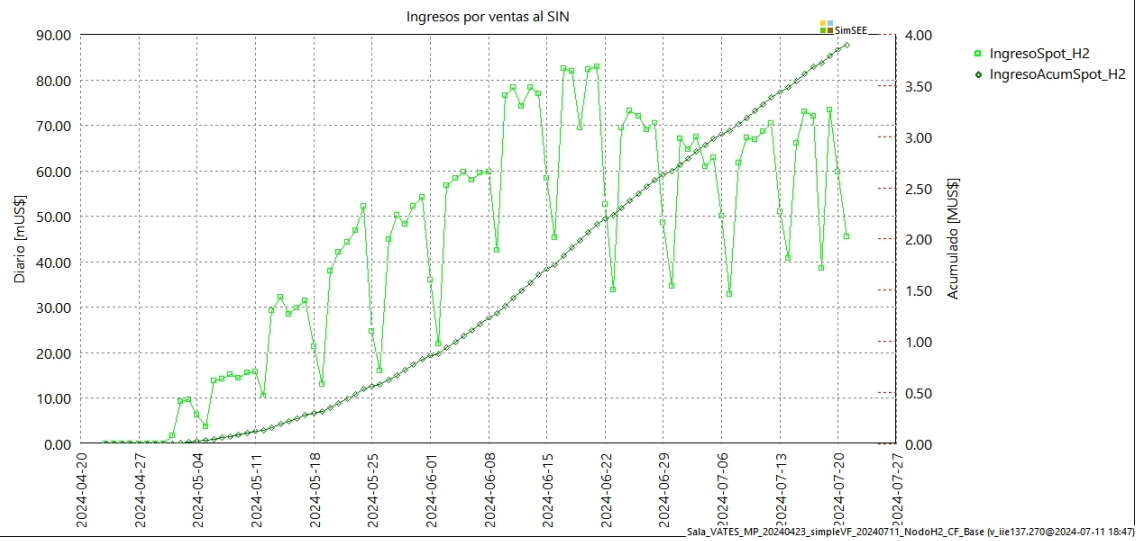


Gráfico 6

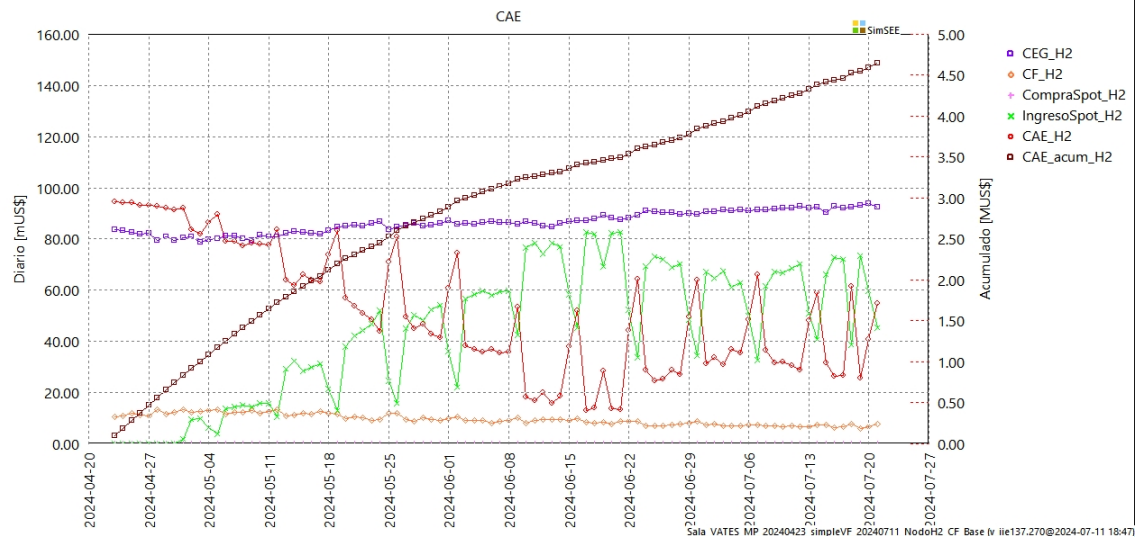


Gráfico 5

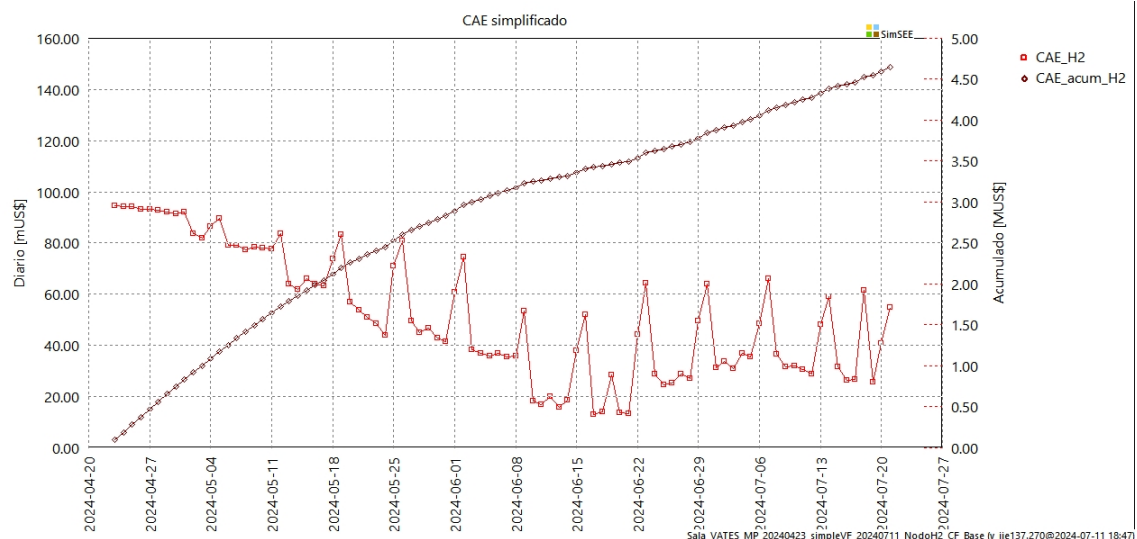


Gráfico 7

4.2 CASO CF_Base_CompraSIN

SimSEE (v_iiie137.270)

Datos de entrada

Sala: MP_20240423_simpleVF_20240711\Sala_VATES_MP_20240423_simpleVF_20240711.esi <- Seleccionar Sala ? ☐ Salidas XLT

Optimización Simulación SimRes3 Auxiliares

Simular

Parámetros

Semilla al ? a sim.: 10031 N° Crónicas a simular: 1000 ☒ Escribir solo variables usadas en SimRes3

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[seg]: 0.000 Tiempo Total[seg]: 42.756

Progreso de la Simulación:

Resultados globales.

CF_VE[MUSD]: 299.32
CF_VaR(5%)[MUSD]: 416.04
CF_CVaR(5%)[MUSD]: 447.86
cdp_VE[MUSD]: 194.11

Gráfico 8

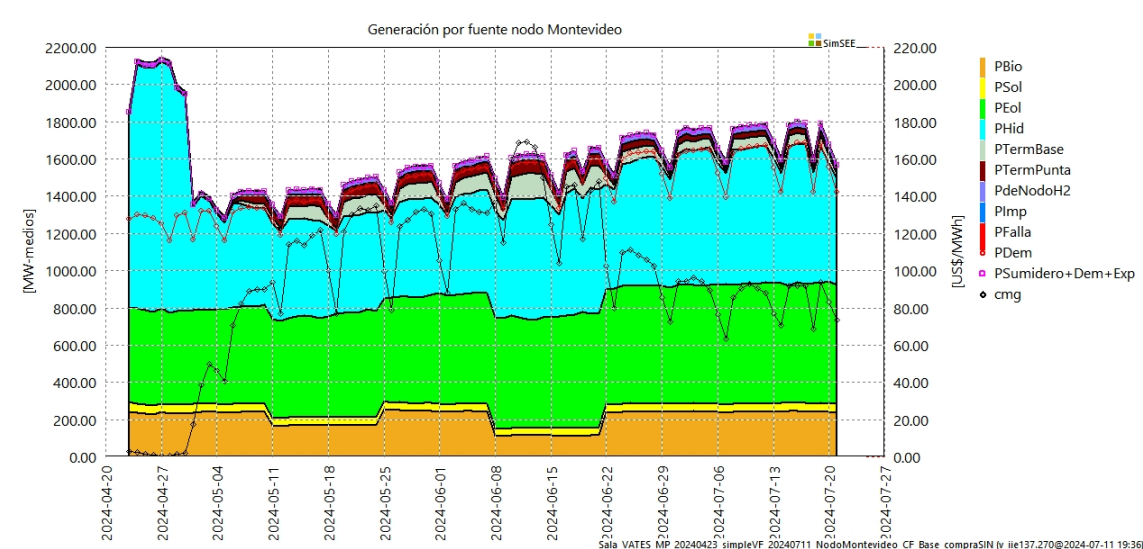


Gráfico 9

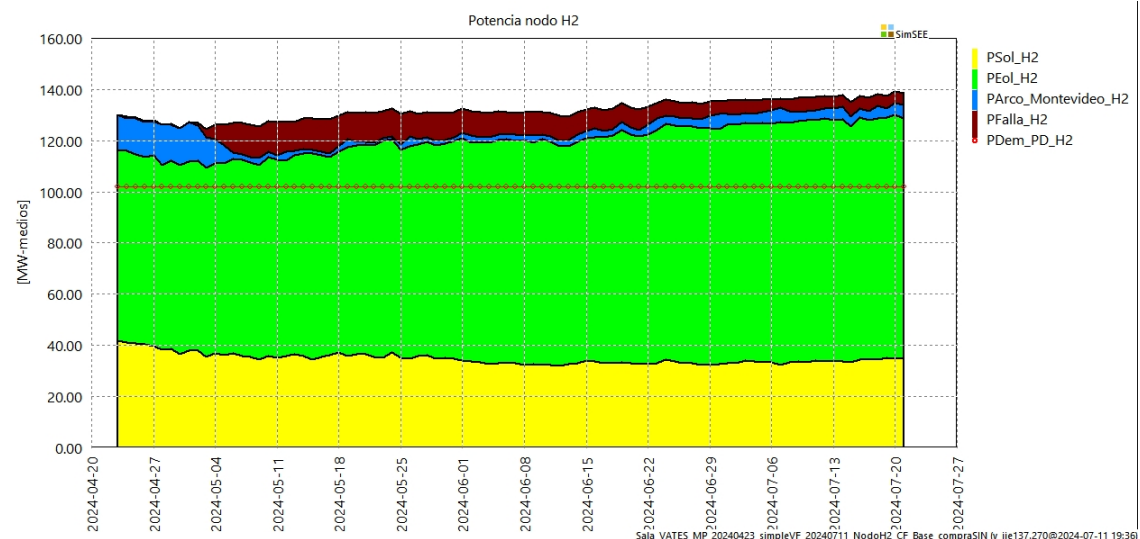


Gráfico 10

El Gráfico 10 muestra la incorporación de Potencia desde el arco "Monteideo" respecto al escenario anterior, lo cual lleva a evitar la falla en ciertos momentos, principalmente cuando la demanda no de cubre con potencia térmica fósil, ya que como se comentó previamente, el costo de falla de la "Dem_H2" es, "Dem_H2"=0,9·151,6 USD/MWh.

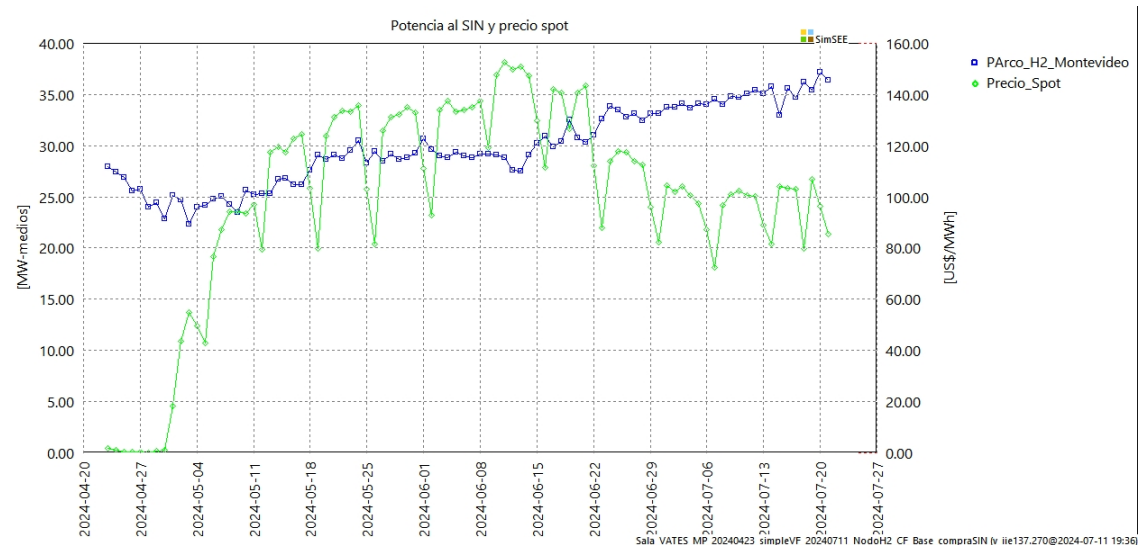


Gráfico 11

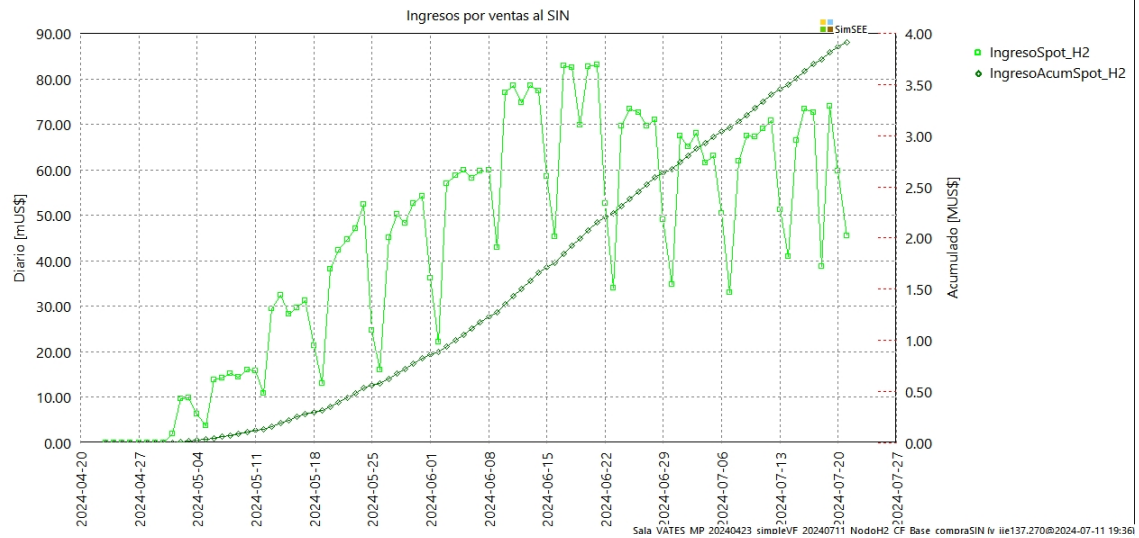


Gráfico 12

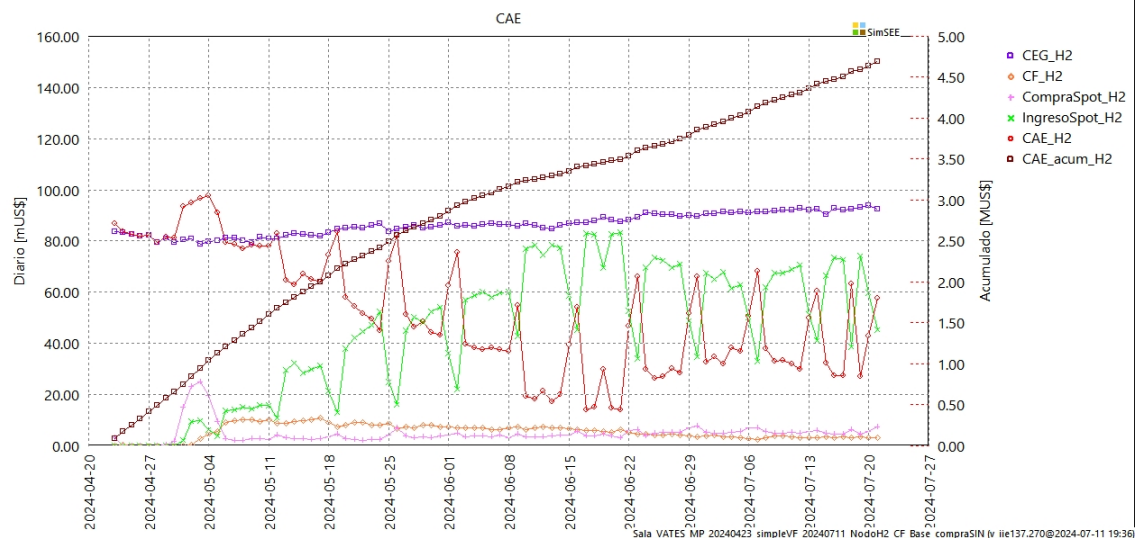


Gráfico 13

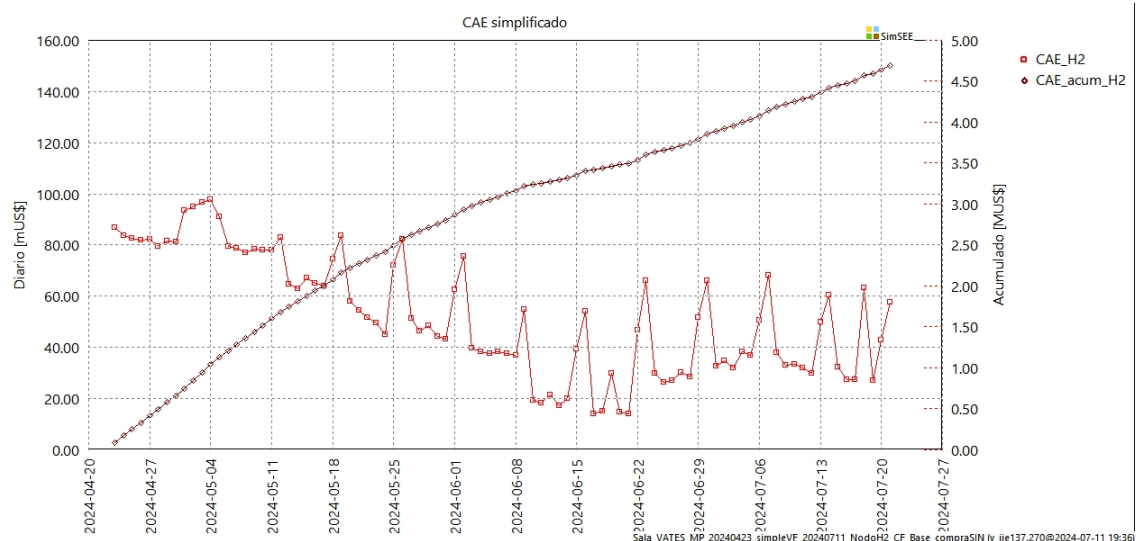


Gráfico 14

4.3 CASO CF_Base_compraSIN_internacional

SimSEE (v_iiie137.270)

Datos de entrada

Sala: MP_20240423_simpleVF_20240711\Sala_VATES_MP_20240423_simpleVF_20240711.esi <- Seleccionar Sala ? ☐ Salidas XLT

Optimización Simulación SimRes3 Auxiliares

Simular

Parámetros

Semilla al ? a sim.: 10031 N° Crónicas a simular: 1000 ☒ Escribir solo variables usadas en SimRes3

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[secs]: 0.000 Tiempo Total[secs]: 35.020

Progreso de la Simulación:

Resultados globales.

CF_VE[MUSD]: 285.63
CF_VaR(5%)[MUSD]: 394.34
CF_CVaR(5%)[MUSD]: 418.68
cdp_VE[MUSD]: 181.52

Imagen 29

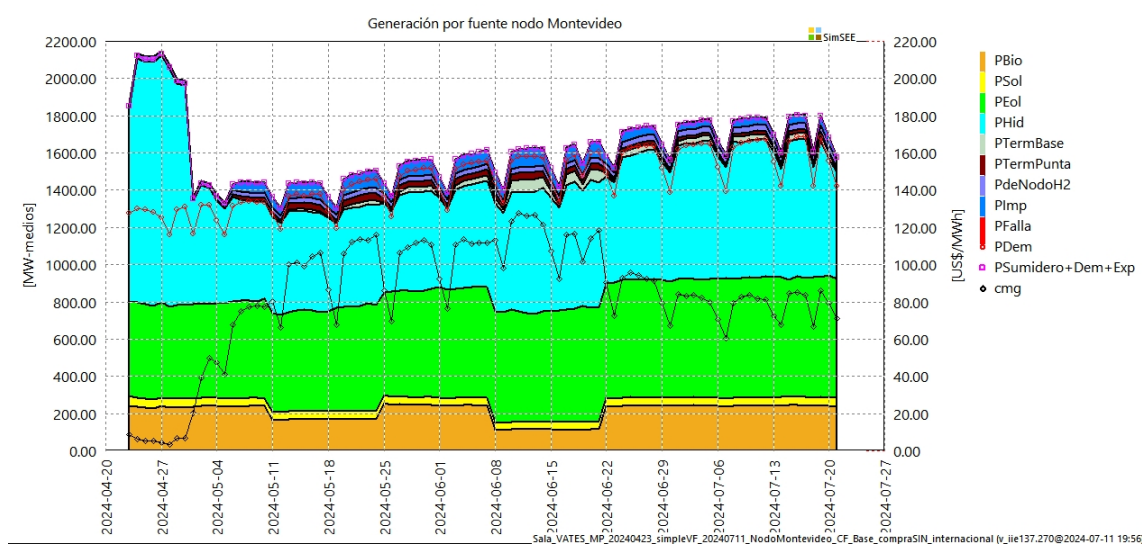


Gráfico 15

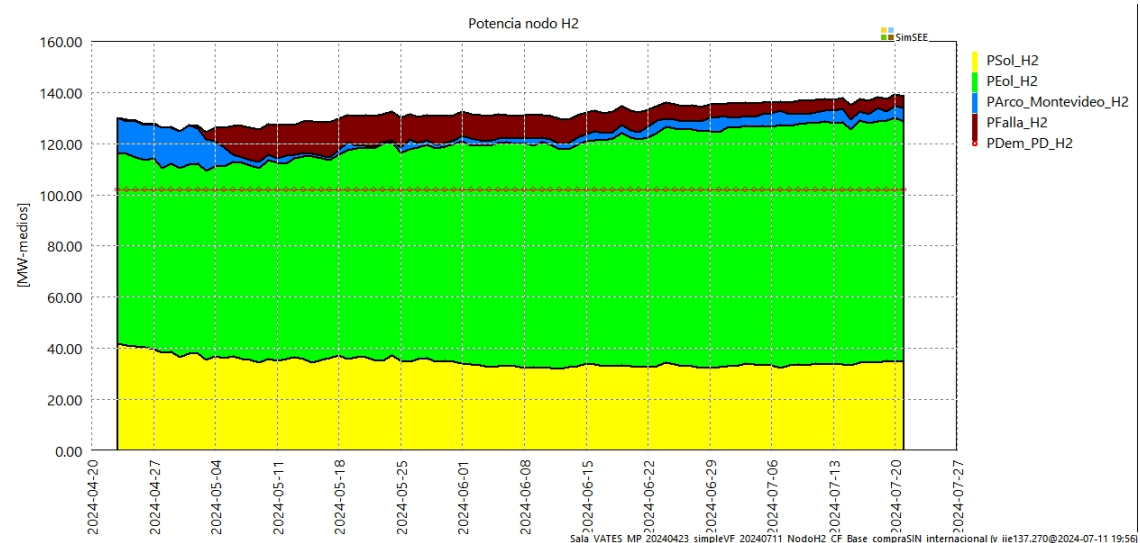


Gráfico 16

El Gráfico 16 corresponde al caso con comercio energético internacional, se puede apreciar que los cambios son muy sutiles, con un mínimo impacto en la potencia de falla.

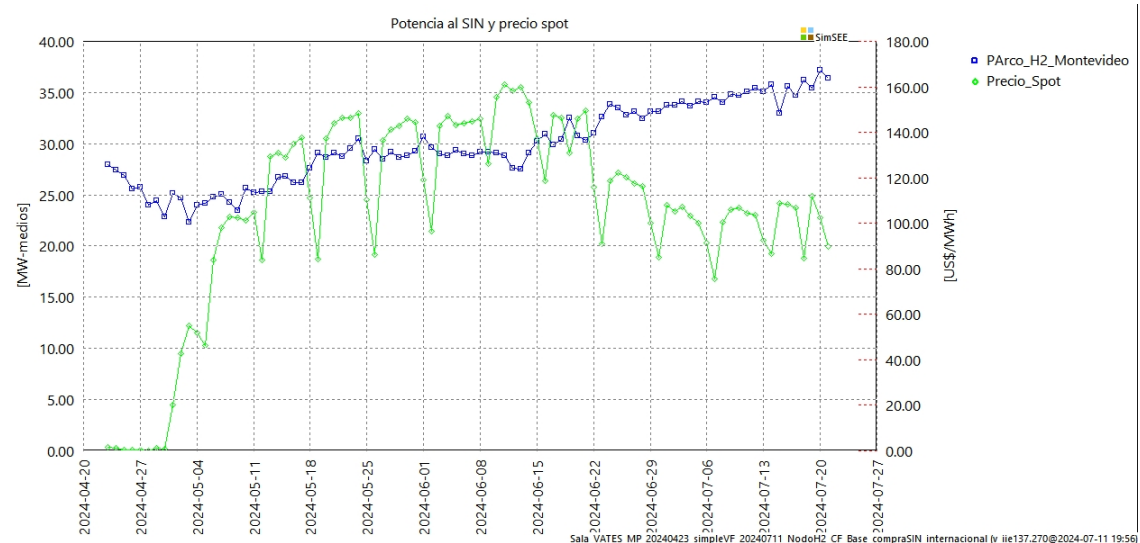
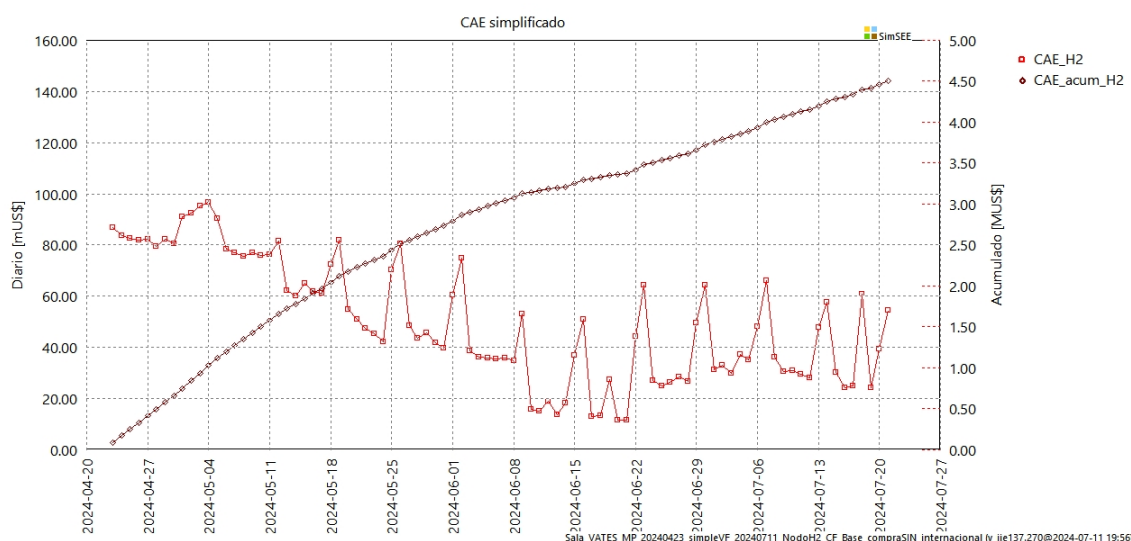
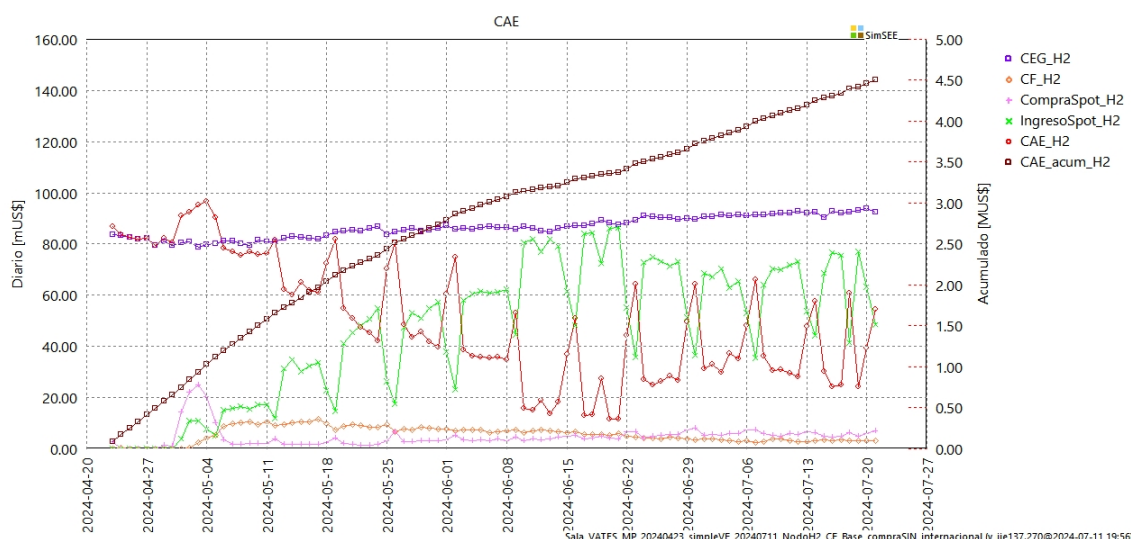
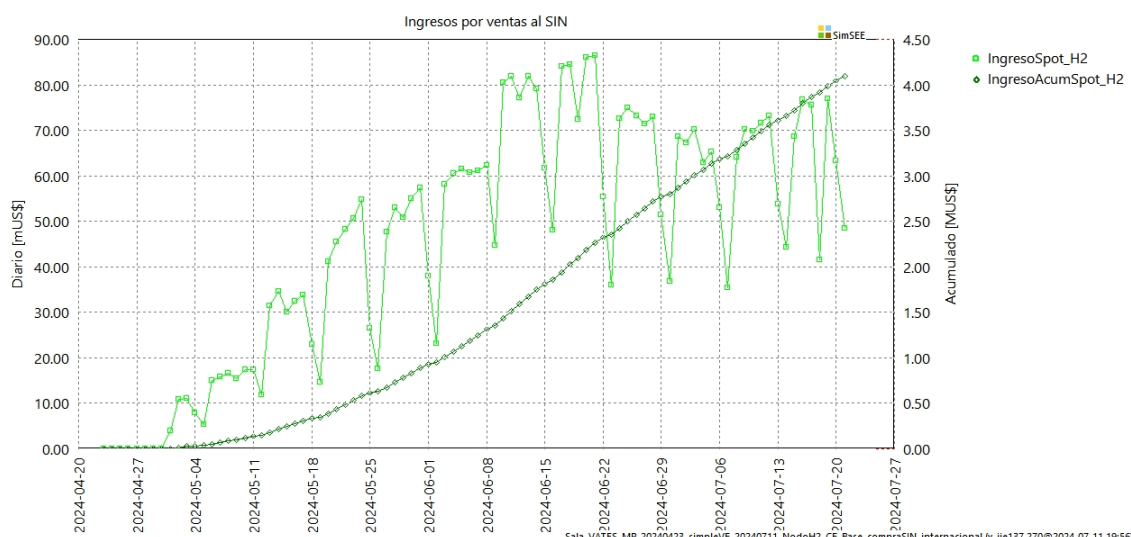


Gráfico 17



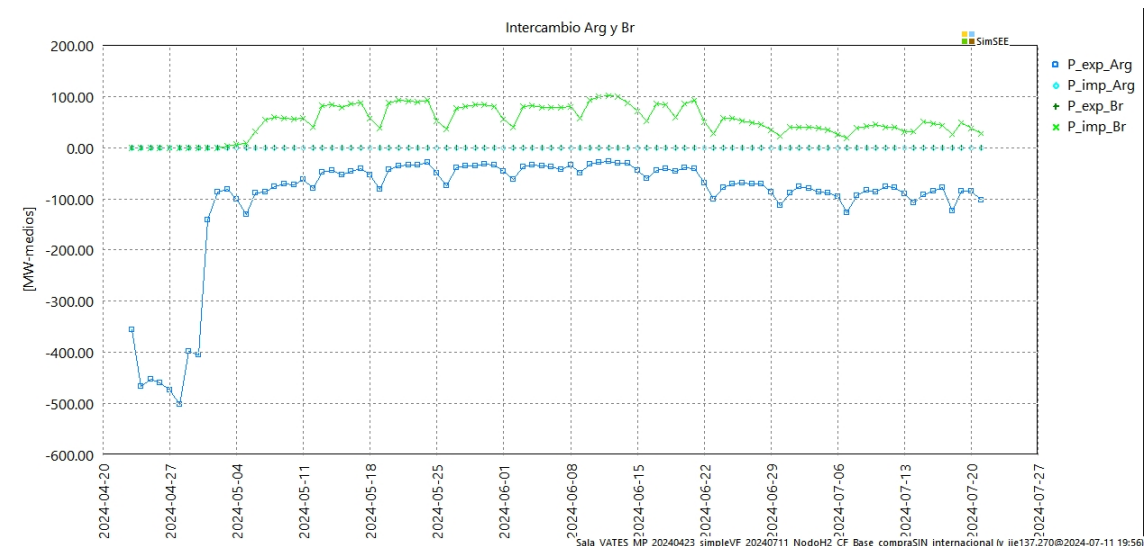


Gráfico 21

Se agrega el Gráfico 21, en donde se puede ver que en este último escenario se dan importaciones desde Brasil y exportaciones hacia Argentina.

4.4 RESUMEN DE RESULTADOS DE SIMULACIONES

	CF_VE [MUSD]	cdp_VE [MUSD]	CAE_acum_H2 [MUSD]	IngresoAcu mSpot_H2 [MUSD]	CF_H2 [MUSD]	CompraSpot_H2 [MUSD]
CF_Base	299,84	194,75	4,644	3,896	0,855	0
CF_Base_compraSIN	299,32	194,11	4,691	3,916	0,426	0,296
CF_Base_compraSIN_ internacional	285,63	181,52	4,511	4,096	0,499	0,425

Tabla 1

En la Tabla 1 se resumen resultados de los tres escenarios considerados. Con respecto a permitir la compra al SIN al nodo "H2", y con las condiciones del escenario planteadas, se ve un leve aumento en el costo de abastecimiento de la energía del proyecto. Esto se debe a que el objetivo de la etapa de optimización es minimizar el costo futuro de la energía de todo el sistema de energía eléctrica y no del nodo "H2".

En el tercer escenario se observa una disminución del costo acumulado de abastecimiento de la energía, este resultado se debe a dos factores. El primero un aumento en los ingresos de las ventas al SIN luego del ingreso de actores internacionales a donde se despacha potencia desde el nodo Montevideo. También influye la disminución tanto del costo de falla del nodo "H2", como la disminución de la compra Spot.

4.5 ANÁLISIS DE PRECISIÓN DEL MÉTODO POR VARIACIÓN DE SEMILLAS DE SIMULACIÓN

El análisis de la precisión de los resultados obtenidos se realizó mediante el método de variación de semillas de simulación, es decir, se fueron variando las semillas de inicio de simulación de tal manera que cada una de las crónicas simuladas no se repitieran. Al realizar las simulaciones con diferentes semillas se obtienen diferentes resultados para las diferentes variables crónicas ya presentadas, de estas crónicas para el análisis de precisión se selecciona el costo de abastecimiento de la energía ya que es uno de los indicadores a tener en cuenta durante la evaluación técnico-económica de los proyectos de inversión de este tipo.

Antes de realizar este análisis se debe determinar el número de crónicas que deben correrse en la simulación, para ello se toma según las hipótesis del caso de estudio que se debe cumplir que el error de la estimación del valor sea menor a 3% con un nivel de confianza del 90%.

Este número de crónicas (N) se determina mediante la siguiente inecuación

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

Ecuación 1

Donde p es la estimación insesgada del promedio de las muestras. Para este caso debido a que no se conoce el comportamiento de las simulaciones corridas, se toma el valor 0,5 que corresponde a una distribución Gaussiana. Esta elección se basa en la Ley de los Grandes Números que establece que el estimador p tiene a tener distribución Gaussiana a medida que N crece.

z corresponde al valor crítico que en el caso de un nivel de confianza del 90% es 1,64485. ϵ denota el error, que en este caso es 0,03 (3%). Por lo tanto el número de crónicas a simular debe ser:

$$N > 0,5(1 - 0,5) \left(\frac{1,64485}{0,03} \right)^2$$

$$N > 751,53$$

Se determina entonces que el número mínimo de crónicas a simular es de 752. Una vez determinado este número se comienzan a correr las simulaciones variando las semillas.

Para realizar la variación de las semillas, y que las mismas no se repitan, se selecciona una semilla para un primer caso, en el segundo caso se selecciona la semilla inicial sumándole 752. De acuerdo a cómo funciona el software SimSEE al indicar la

semilla y el número de crónicas se corren simulaciones con las semillas consecutivas a la indicada hasta completar las crónicas indicadas.

Por lo tanto, para la primera simulación se decide comenzar con la semilla 1, finalizando en la 752 para completar el mínimo de crónicas necesarias. De esta manera, para la segunda simulación la primera semilla será la 753 y la última la 1504, y así sucesivamente con el resto de las simulaciones.

El método de variación de semillas se aplica de la siguiente manera, se corren simulaciones con 10 semillas iniciales distintas con 752 crónicas de simulación y se evalúan los siguientes valores estadísticos del costo de abastecimiento de la energía (CAE) al final del horizonte temporal:

- Promedio
- Desviación estándar
- Varianza

Se presentan a continuación los resultados para las primeras 10 semillas iniciales.

4.5.1 10 semillas

Semillas		CAE (MUSD)
1	752	4,552
753	1504	4,411
1505	2256	4,433
2257	3008	4,355
3009	3760	4,473
3761	4512	4,560
4513	5264	4,423
5265	6016	4,456
6017	6768	4,454
6769	7520	4,522

Tabla 2

- Promedio: 4,464 MUSD
- Desviación estándar: 0,065
- Varianza: $4,23 \times 10^{-3}$

Se continúa con las simulaciones para 20, 30 y 40 semillas iniciales.

4.5.2 20 semillas

Semillas		CAE (MUSD)	Semillas		CAE (MUSD)
1	752	4,552	7521	8272	4,355
753	1504	4,411	8273	9024	4,511
1505	2256	4,433	9025	9776	4,426
2257	3008	4,355	9777	10528	4,503
3009	3760	4,473	10529	11280	4,530
3761	4512	4,560	11281	12032	4,549
4513	5264	4,423	12033	12784	4,446
5265	6016	4,456	12785	13536	4,488
6017	6768	4,454	13537	14288	4,493
6769	7520	4,522	14289	15040	4,444

Tabla 3

- Promedio: 4,469 MUSD
- Desviación estándar: 0,060
- Varianza: $3,60 \times 10^{-3}$

4.5.3 30 semillas

Semillas		CAE (MUSD)	Semillas		CAE (MUSD)
1	752	4,552	15041	15792	4,427
753	1504	4,411	15793	16544	4,581
1505	2256	4,433	16545	17296	4,488
2257	3008	4,355	17297	18048	4,501
3009	3760	4,473	18049	18800	4,439
3761	4512	4,560	18801	19552	4,584
4513	5264	4,423	19553	20304	4,451
5265	6016	4,456	20305	21056	4,402
6017	6768	4,454	21057	21808	4,468
6769	7520	4,522	21809	22560	4,444
7521	8272	4,355			
8273	9024	4,511			
9025	9776	4,426			
9777	10528	4,503			
10529	11280	4,530			
11281	12032	4,549			
12033	12784	4,446			
12785	13536	4,488			
13537	14288	4,493			
14289	15040	4,444			

Tabla 4

- Promedio: 4,472 MUSD
- Desviación estándar: 0,060
- Varianza: $3,56 \times 10^{-3}$

4.5.4 40 semillas

Semillas		CAE (MUSD)	Semillas		CAE (MUSD)
1	752	4,552	15041	15792	4,427
753	1504	4,411	15793	16544	4,581
1505	2256	4,433	16545	17296	4,488
2257	3008	4,355	17297	18048	4,501
3009	3760	4,473	18049	18800	4,439
3761	4512	4,560	18801	19552	4,584
4513	5264	4,423	19553	20304	4,451
5265	6016	4,456	20305	21056	4,402
6017	6768	4,454	21057	21808	4,468
6769	7520	4,522	21809	22560	4,444
7521	8272	4,355	22561	23312	4,525
8273	9024	4,511	23313	24064	4,447
9025	9776	4,426	24065	24816	4,586
9777	10528	4,503	24817	25568	4,529
10529	11280	4,530	25569	26320	4,487
11281	12032	4,549	26321	27072	4,451
12033	12784	4,446	27073	27824	4,534
12785	13536	4,488	27825	28576	4,569
13537	14288	4,493	28577	29328	4,535
14289	15040	4,444	29329	30080	4,367

Tabla 5

- Promedio: 4,480 MUSD
- Desviación estándar: 0,062
- Varianza: 3,83 x10⁻³

4.6 CORRIDAS DE CHEQUEO

Además de las soluciones obtenidas, en las que se tienen resultados de promedios de crónicas y postes, se realizaron corridas de chequeo simplificadas a una sola crónica y poste para verificar que en la sala no se den comportamientos no esperados como potencia por el nodo Montevideo_H2 y H2_Montevideo a la vez o importación e importación en simultáneo.

Estos chequeos se realizan para el caso CF_Base_compraSIN_internacional a través del archivo "Postes" de SimRes3 y se muestran de manera resumida a continuación:

Índices Variables Crónicas Operaciones Crónicas Post Operaciones Impresión de Variables Crónicas Ejecutar ?					
Tipo de operación	Resultados	Parámetros índice	Parámetros adicionales		
promedioPonderadoPorDurpos	P1_H2_Mdeo	idx_H2_Montevideo_P_P1	-		
promedioPonderadoPorDurpos	P2_H2_Mdeo	idx_H2_Montevideo_P_P2	-		
promedioPonderadoPorDurpos	P3_H2_Mdeo	idx_H2_Montevideo_P_P3	-		
promedioPonderadoPorDurpos	P4_H2_Mdeo	idx_H2_Montevideo_P_P4	-		
promedioPonderadoPorDurpos	P1_Mdeo_H2	idx_Montevideo_H2_P_P1	-		
promedioPonderadoPorDurpos	P2_Mdeo_H2	idx_Montevideo_H2_P_P2	-		
promedioPonderadoPorDurpos	P3_Mdeo_H2	idx_Montevideo_H2_P_P3	-		
promedioPonderadoPorDurpos	P4_Mdeo_H2	idx_Montevideo_H2_P_P4	-		
promedioPonderadoConDurpos_m	P1_Imp_Br	idx_ImpMelo_P_P1, idx_Importacion_Bra...	-		
promedioPonderadoConDurpos_m	P1_Imp_Ar	idx_ImpArgentina_P_P1	-		
promedioPonderadoConDurpos_m	P1_Exp_Br	idx_Exp_BR_P_P1, idx_Exp_BR_ocasional...	-		
promedioPonderadoConDurpos_m	P1_Exp_Ar	idx_ExpInterrumpibleArgentina_Resto_P...	-		
promedioPonderadoConDurpos_m	P2_Imp_Br	idx_ImpMelo_P_P2, idx_Importacion_Bra...	-		
promedioPonderadoConDurpos_m	P2_Imp_Ar	idx_ImpArgentina_P_P2	-		
promedioPonderadoConDurpos_m	P2_Exp_Br	idx_Exp_BR_P_P2, idx_Exp_BR_ocasional...	-		
promedioPonderadoConDurpos_m	P2_Exp_Ar	idx_ExpInterrumpibleArgentina_Resto_P...	-		
promedioPonderadoConDurpos_m	P3_Imp_Br	idx_ImpMelo_P_P3, idx_Importacion_Bra...	-		
promedioPonderadoConDurpos_m	P3_Imp_Ar	idx_ImpArgentina_P_P3	-		
promedioPonderadoConDurpos_m	P3_Exp_Br	idx_Exp_BR_P_P3, idx_Exp_BR_ocasional...	-		
promedioPonderadoConDurpos_m	P3_Exp_Ar	idx_ExpInterrumpibleArgentina_Resto_P...	-		
promedioPonderadoConDurpos_m	P4_Imp_Br	idx_ImpMelo_P_P4, idx_Importacion_Bra...	-		
promedioPonderadoConDurpos_m	P4_Imp_Ar	idx_ImpArgentina_P_P4	-		
promedioPonderadoConDurpos_m	P4_Exp_Br	idx_Exp_BR_P_P4, idx_Exp_BR_ocasional...	-		

Imagen 30

Edición de CompararValoresMultiplesCronVars

Nombre de la Hoja: P por Arcos por Poste ?

Título del gráfico: P por Arcos por Poste

Eje Y (Primario)

Título: [MW] Formato: 8 2 Mín: 0 ☒ Auto Máx: 0 ☒ Auto.

Eje Y (Secundario)

Título: Formato: 8 2 Mín: 0 ☒ Auto Máx: 0 ☒ Auto.

Variables crónicas

CronVar: <Seleccione una Variable Crónica> Agregar

Tipo de Gráfico: ☒ Areas Apiladas ☐ Dispersión

Graficar en Eje: ☐ Primario ☐ Secundario

Color: Auto Auto

Eje x

Título:

☒ Tiempo ☐ PE ☐ CronVar <Seleccione una Variable Crónica>

Valores a Comparar:

☒ Promedios ☐ Desviaciones Estandar ☐ Probabilidades de Excedencia ☐ Valores en Riesgo ☐ Todas las crónicas

Opciones

☒ Graficar? ☒ Pre-Ordenar

PE[p.u.]: 0 PE1[p.u.]: 0

Variable crónica	Tipo de Grafico	Eje				
P1_H2_Mdeo	dis	pri				
P2_H2_Mdeo	dis	pri				
P3_H2_Mdeo	dis	pri				
P4_H2_Mdeo	dis	pri				
P1_Mdeo_H2	dis	pri				
P2_Mdeo_H2	dis	pri				
P3_Mdeo_H2	dis	pri				
P4_Mdeo_H2	dis	pri				

Imagen 31

Edición de CompararValoresMultiplesCronVars

Nombre de la Hoja: P Imp Exp por Postes ?

Título del gráfico: P Imp Exp por Postes

Eje Y (Primario)

Título: [MW] Formato: 8 2 Mín: 0 ☒ Auto Máx: 0 ☒ Auto.

Eje Y (Secundario)

Título: Formato: 8 2 Mín: 0 ☒ Auto Máx: 0 ☒ Auto.

Variables crónicas

CronVar: <Seleccione una Variable Crónica> Agregar

Tipo de Gráfico: ☒ Areas Apiladas ☐ Dispersión

Graficar en Eje: ☐ Primario ☐ Secundario

Color: Auto Auto

Eje x

Título:

☒ Tiempo ☐ PE ☐ CronVar <Seleccione una Variable Crónica>

Valores a Comparar:

☒ Promedios ☐ Desviaciones Estandar ☐ Probabilidades de Excedencia ☐ Valores en Riesgo ☐ Todas las crónicas

Opciones

☒ Graficar? ☒ Pre-Ordenar

PE[p.u.]: 0 PE1[p.u.]: 0

Variable crónica	Tipo de Grafico	Eje				
P1_Imp_Br	are	pri	Auto			
P1_Imp_Ar	are	pri	Auto			
P1_Exp_Br	are	pri	Auto			
P1_Exp_Ar	are	pri	Auto			
P2_Imp_Br	are	pri	Auto			
P2_Imp_Ar	are	pri	Auto			
P2_Exp_Br	are	pri	Auto			
P2_Exp_Ar	are	pri	Auto			
P3_Imp_Br	are	pri	Auto			
P3_Imp_Ar	are	pri	Auto			
P3_Exp_Br	are	pri	Auto			
P3_Exp_Ar	are	pri	Auto			
P4_Imp_Br	are	pri	Auto			

Guardar Cancelar

Imagen 32

Dado que la gran cantidad de datos dificulta el análisis gráfico de los resultados se realiza a través de la tabla de resultados un chequeo poste por poste, verificando que para la crónica analizada no se ven inconsistencias del tipo potencia por el nodo Montevideo_H2 y H2_Montevideo a la vez o importación e importación en simultáneo.

4.7 CORRIDA ADICIONAL CON PLAZO DE 1 AÑO

Se entiende que para evaluar el costo de abastecimiento de la energía para un proyecto de inversión de este tipo, el horizonte de tiempo de la sala de la propuesta no es adecuado ya que debería evaluarse para un horizonte temporal del tiempo previsto para la operación del proyecto. Además, al evaluarse solamente un trimestre, tampoco se ve la estacionalidad de la generación de renovables del nodo H2. Para este último punto, se entiende que lo ideal sería correr al menos en una sala de un año.

Se realiza, a modo de ejercicio, una adaptación de la sala para que cubra el análisis de un año de la producción de energía del nodo H2.

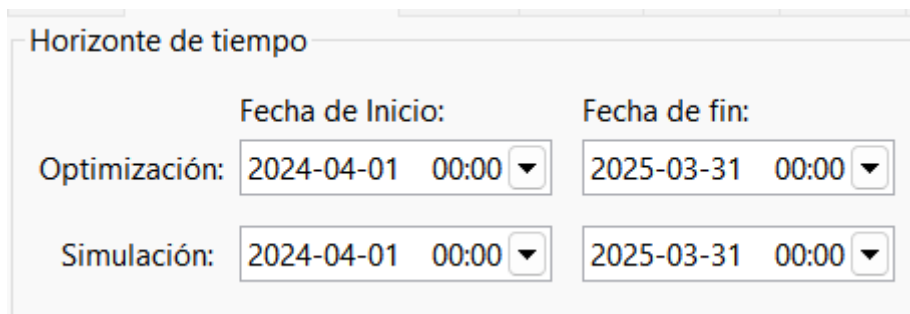


Imagen 33

- Se modifica la demanda detallada Dem_H2 para que cubra todo el año.
- Se ajustan fichas de fuentes y unidades disponibles de actores para que incluyan datos desde el 1/4/2024, aunque para algunos datos esto es una gran aproximación.

Fuentes ajustadas

- Ap_bon_mult
- Ap_Palmar_mult
- Penalidades

Unidades disponibles de actores ajustadas

- Hidráulicas - Bonete
- Térmicas - Liderdat y PTL_1-6 y UPM
- Internacional y Otros - Motores

Se realiza la corrida de optimización y simulación para el último escenario CF_Base_compraSIN_internacional. La demanda para este caso, utilizando el 30% del histograma sería de 107 MW.

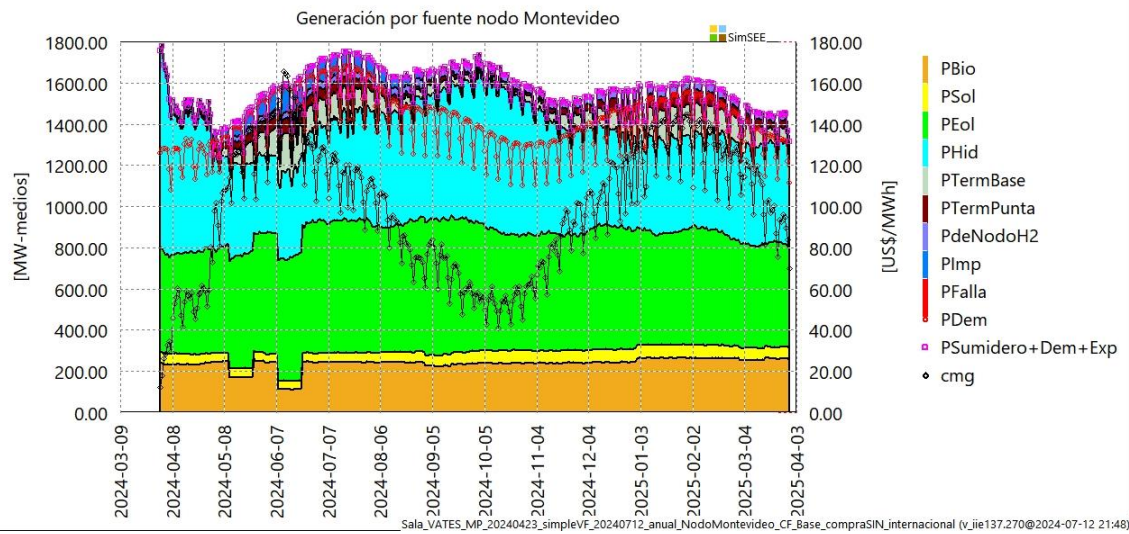


Gráfico 22

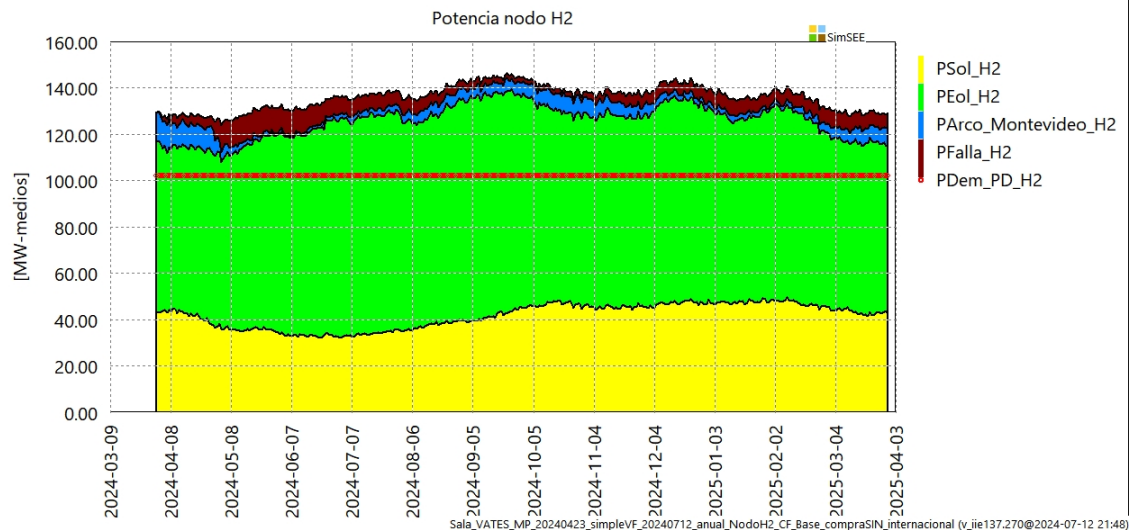


Gráfico 23

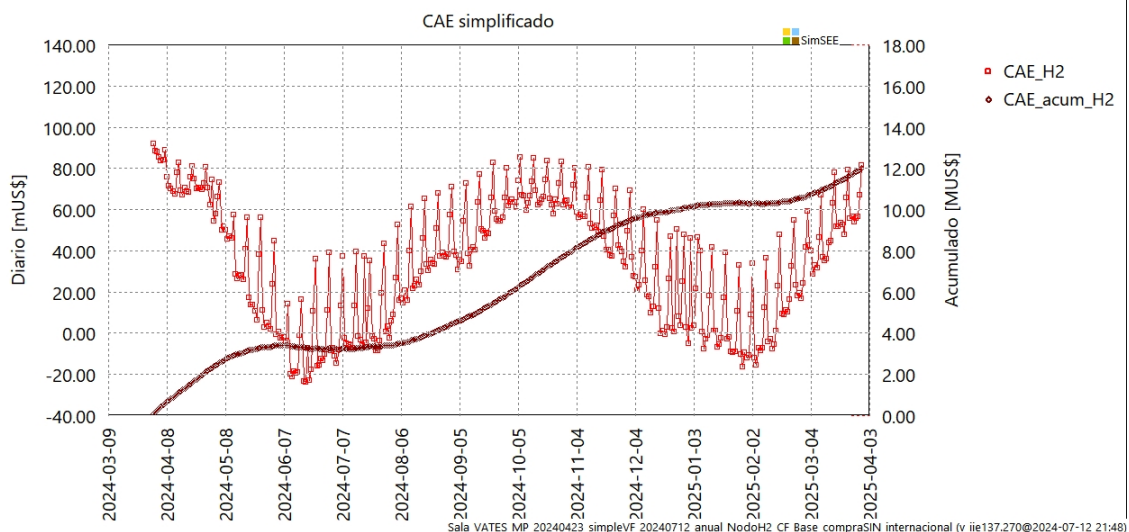


Gráfico 24

5- CONCLUSIONES

Al comparar los casos simulados notamos una diferencia esperada en los respectivos resultados económicos. Es razonable que la diferencia sea de bajo impacto ya que por hipótesis se plantea un escenario conservador para la selección del electrolizador, por lo que el faltante a cubrir es significativamente menor comparado a la generación que dispone el nodo.

Además se resalta que los resultados obtenidos son consecuentes con que bajen el costo del proyecto a medida que se agregan actores, estos sustituyen el costo de falla del nodo H2. De todas maneras debe considerarse que en caso de que quiera producirse "hidrógeno verde" este costo de falla debe ser sustituido por energías renovables. A su vez el costo también baja con la posibilidad de descontar mediante ingresos por ventas del excedente del nodo al SIN.

Por otro lado, en cuanto al uso de SimSEE, se destaca como una herramienta poderosa y versátil para la simulación y análisis de predicciones en sistemas eléctricos. Su capacidad para manejar escenarios complejos y variables estocásticas permite modelar con precisión la incertidumbre y variabilidad inherente de la realidad.

La flexibilidad del sistema para configurar múltiples parámetros y realizar análisis detallados de contingencias y sustituciones tecnológicas proporciona una visión integral del comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones operativas.

Además, las funciones avanzadas de post-procesamiento y el uso eficiente de semillas de simulación aseguran la reproducibilidad y precisión de los resultados, lo que facilita la toma de decisiones informadas y estratégicas.

En resumen, se elogia que SimSEE no solo optimiza el proceso de simulación, sino que también ofrece un marco robusto para la evaluación económica y operativa de los sistemas eléctricos, contribuyendo significativamente a la planificación y gestión eficiente de los recursos energéticos.

6- POSIBLES FUTUROS TRABAJOS

6.1 CONTINUAR EL ANÁLISIS CON UN MODELO DE LARGO PLAZO

Implementar el nodo "H2" en otra sala simplificada pero de largo plazo, ver salas de proyectos de inversiones e identificar cómo será el comportamiento del nodo en el largo plazo en la red de Uruguay.

Hacer un análisis de sensibilidad variando el precio del petróleo, o el valor de la energía no considerada para su despacho.

6.2 USO DE BATERÍAS

Agregar al nodo "H2" un actor "banco de baterías" que permita modelar el uso de baterías en estos proyectos.

6.3 RÉPLICAS DEL PROYECTO

Se propone hacer réplicas del proyecto con nodos y arcos nuevos conectados al nodo Montevideo. Evaluar como es el impacto diferencial de un nodo extra conectado al nodo Montevideo. Además se puede evaluar la influencia de otros proyectos ya anunciados como los son HIF (Paysandú) y Tambores (Tacuarembó).

7- REFERENCIAS Y BINARIOS UTILIZADOS

- Palacio, F., Soubes, P., & Chaer, R. (2019). SimSEE: Manuales de Usuario de SimSEE. Volumen 1: Manual del Editor, Volumen 2: Fuentes, Volumen 3: Actores, Volumen 4: SimRes3, Volumen 5: AnalisisSerial, Volumen 6: OddFace. Montevideo, Uruguay.
<https://www.simsee.org/simsee/verdoc/vol1.php>
- [https://sourceforge.net/projects/simsee/files/SimSEE binarios 137 270 WIN64.zip/download](https://sourceforge.net/projects/simsee/files/SimSEE%20binarios%20137%20270%20WIN64.zip/download)
- [https://sourceforge.net/projects/simsee/files/SimSEEEedit binario v138 270 WIN 64.zip/download](https://sourceforge.net/projects/simsee/files/SimSEEEedit%20binario%20v138%20270%20WIN64.zip/download)