

Crear un CEGH que correlacione la influencia del Niño y los caudales de aporte a las Centrales Hidroeléctricas con el viento, la radiación solar y la temperatura.

Grupo 1:

Autores: Diego Penela, Sebastián Lillo

Instituto de Ingeniería Eléctrica - FING.
Trabajo final curso SimSEE edición 2022
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 asociadas al uso del material del curso y/o a los datos, hipótesis y conclusiones del presente trabajo.

índices

índice de contenido

1. Objetivo.....	3
2. Hipótesis de trabajo.....	3
3. Metodología.....	7
4. Resultados del estudio.....	12
5. Posibles futuros trabajos.....	19
6. Bibliografía.....	19

índice de tablas

Tabla 1: Detalle modelado para cada generador.....	10
Tabla 2: energía semanal para abastecer demanda por tipo.....	16
Tabla 3: Valores de agua promedio.....	16
Tabla 4: Comparación de cotas.....	17

índice de gráficos

Gráfico 1: Previsión de generación por fuente en la sala original.....	14
Gráfico 2: Costos directos acumulados en la sala original.....	14
Gráfico 3: Previsión de generación por fuente en la sala modificada.....	15
Gráfico 4: Costo directos acumulados en la sala modificada.....	15

índice de figuras

Figura 1 Puntos geográficos de estudio.....	4
Figura 2: Correlación N3.4 v/s kt.....	5
Figura 3: Ciclo anual condicionado por N3.4.....	5
Figura 4: Regresión lineal promedio de kt en correlación con N3.4.....	6
Figura 5: Archivo de texto para análisis de datos.....	7
Figura 6: Análisis serial.....	8
Figura 7: Matriz A del filtro lineal (valor absoluto).....	9
Figura 8: Extracto de archivo CEGH - reducción de variables de estado.....	9
Figura 9: Ubicación fuentes de energía eólico, solar e hidráulico.....	11
Figura 10: Matriz de covarianza.....	12
Figura 11: Matriz de covarianza con identificación de valores positivos y negativos....	13

1. Objetivo.

Cómo primer objetivo se plantea identificar dependencias entre series de datos por medio del Análisis Serial y la creación de un CEGH, para evaluar una mejora en una Sala actual.

Continuando en ese sentido, se modelan e introducen dichas dependencias en una Sala Vates de corto plazo para comparar y medir un eventual beneficio entre la Sala original y la modificada.

En el mismo contexto y como complemento, se busca mostrar con este proyecto que los conocimientos adquiridos al finalizar el curso son los adecuados.

2. Hipótesis de trabajo.

A continuación, se mencionan las hipótesis generales utilizadas para alcanzar el objetivo planteado:

El programa Análisis Serial es un utilitario auxiliar a la plataforma SimSEE. Análisis Serial es útil para analizar series temporales de datos y crear un modelo de Correlaciones en Espacio Gaussiano con Histograma (CEGH).¹

Se toman series de reanálisis de viento, índice de claridad KT y temperatura en 4 puntos geográficos del país, con paso horario, en el período comprendido entre abril de 2014 y diciembre de 2021.

¹ Extraído de Manuales de Usuario SimSEE, Volumen 5 – AnálisisSerial.

<https://simsee.org/simsee/verdoc.php?topico=analisisserial-manualdeusuario&idioma=&seccion=3830>



Figura 1: Puntos geográficos de estudio

La intención de contar con 4 puntos geográficos alejados es poder eventualmente tomar información adicional de cada una de las series, para considerar al momento del modelado.

También se toman series históricas de: la anomalía de la temperatura superficial del Océano Pacífico en la zona que es de influencia para el fenómeno de *El Niño* y *La Niña* (en adelante *iN34*) y de caudales de aporte a las Centrales hidroeléctricas del Sistema: Bonete, Palmar y Salto Grande; todas estas series con paso semanal, desde el año 1901.

Esta serie es luego adaptada a detalle horario en el período que comprende a las series de reanálisis mencionadas anteriormente.

Ese criterio se fija ya que debido al ciclo diario de la eólica y la solar, se entiende necesario conservar el detalle horario. Además, solo se conservan los datos del período 2014-2021 ya que de mantener la serie desde 1901 y completando los datos de las señales faltantes con valor -11111 (valor que se utiliza para filtrar y descartar la muestra), la cantidad de puntos de la serie ascendería a más de 384 millones. Nuestra serie de datos generada cuenta con poco más de 67 mil puntos.

Es también oportuno comentar que nuestro análisis se ve motivado por la clase dictada durante el curso por el Docente del IMFIA Ing. Rafael Terra y los resultados expuestos acerca de la influencia de El Niño y cómo condiciona el clima regional: Si hay mayores aportes en las cuencas de las Centrales Hidráulicas es porque llueve más, y si llueve más es debido a una mayor nubosidad, lo que se traduce en menor índice de claridad (kt).

En resumidas palabras se comentó que se comprueba una correlación negativa entre la señal del Niño y el índice kt, y ésta es mayor en el norte del país.

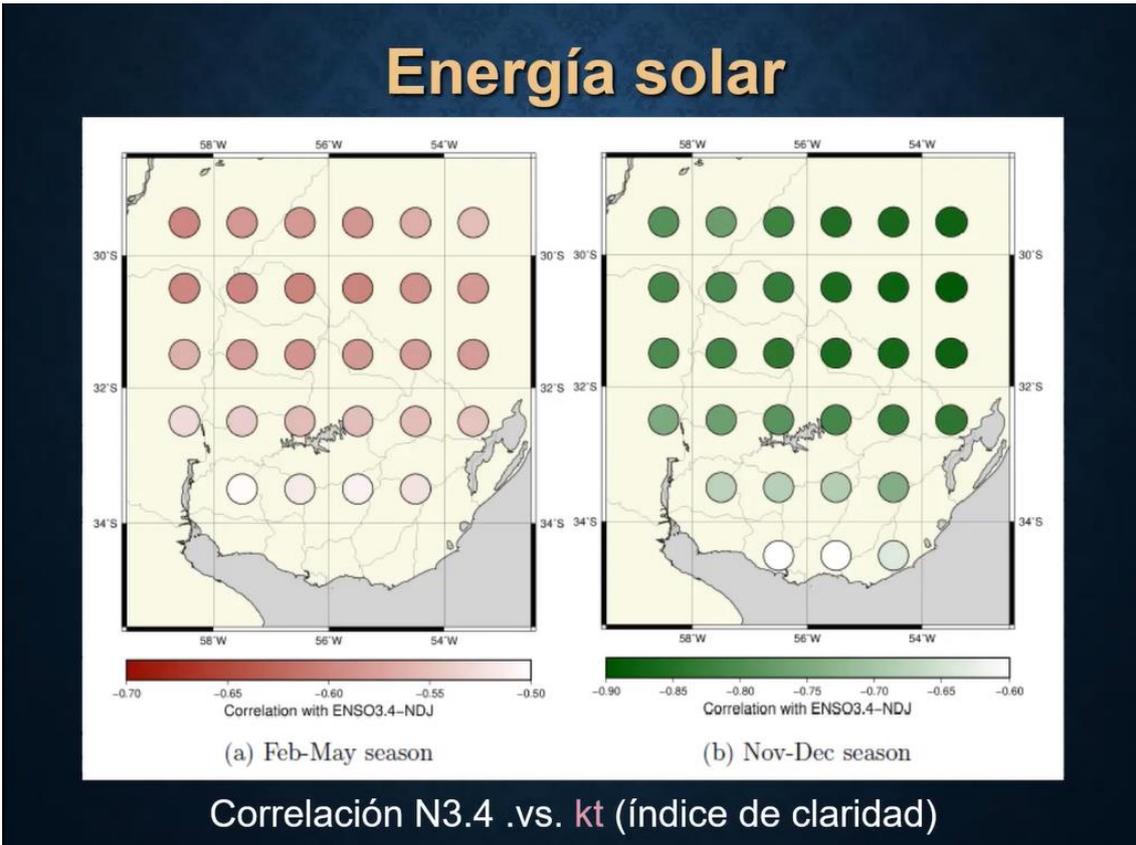


Figura 2: Correlación N3.4 v/s kt

Dividiendo al país en 3 regiones (norte, centro y sur), se mostraron resultados para “años Niño” y “años Niña”, para cada mes del año, donde se puede observar que por ejemplo en los “años Niña” la insolación es mayor y esa anomalía de kt es a su vez mayor en el norte.

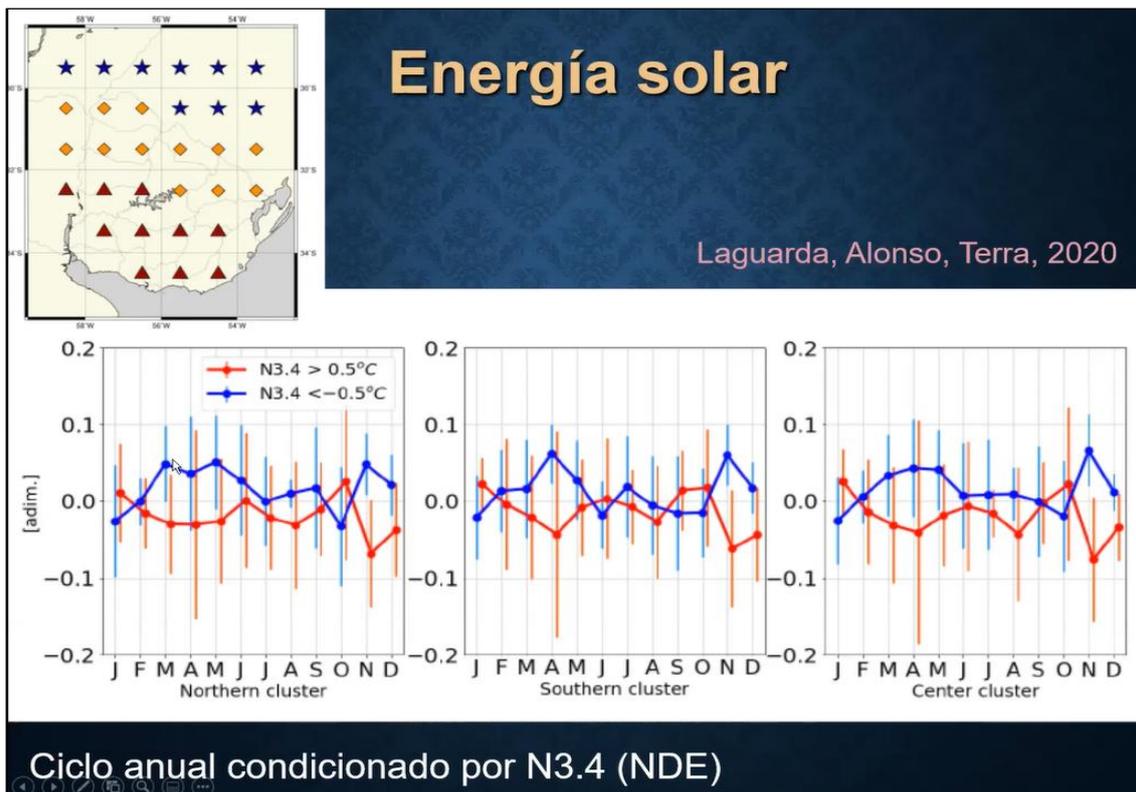


Figura 3: Ciclo anual condicionado por N3.4

Y más en detalle se mostró para la región norte, en esas 2 estaciones en que la señal es más robusta, la correlación lineal (con cierta dispersión) negativa.

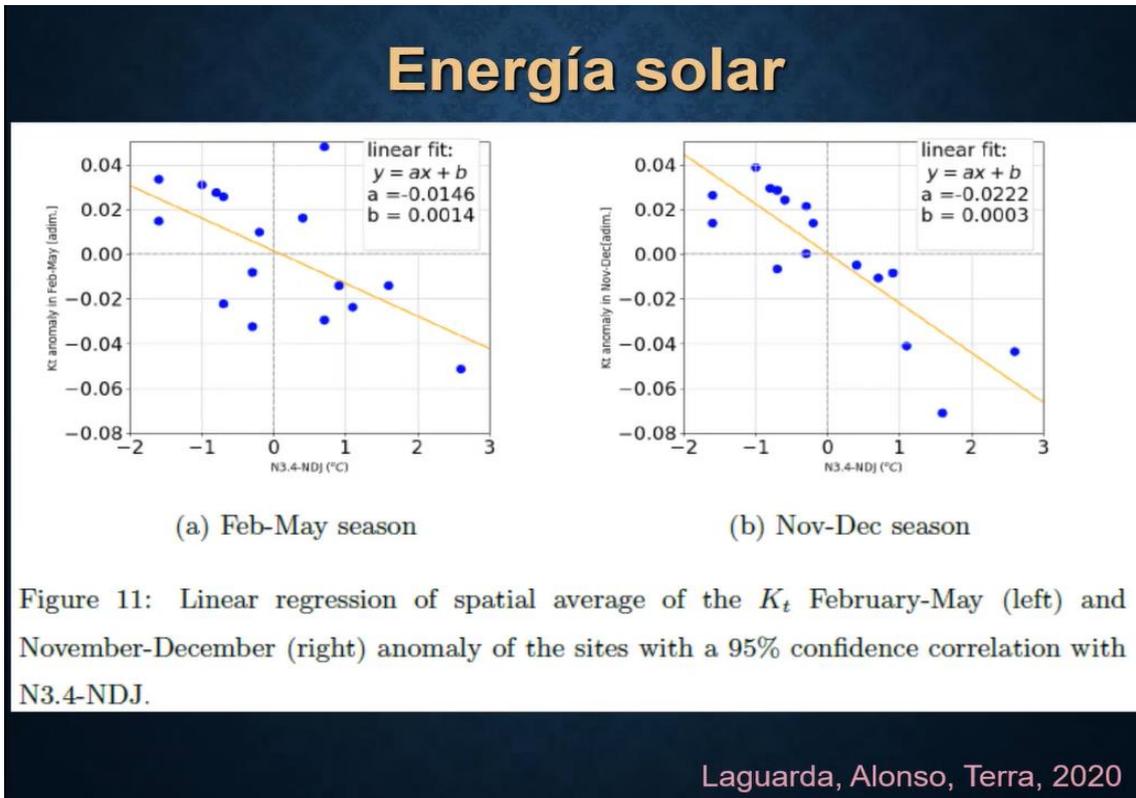


Figura 4: Regresión lineal promedio de k_t en correlación con N3.4

Eso nos motivó a introducir en la sala Vates el sesgo de la disponibilidad del recurso solar y eólico dependiendo del estado de la señal del Niño y de los caudales de aporte a las centrales hidroeléctricas.

Para el trabajo se utiliza la versión de SimSEE v_ iie82.229 y una sala de corto plazo, descargada de la página de la Administración del Mercado Eléctrico (ADME), la cual corresponde a la corrida del miércoles 25 de mayo de 2022 a las 15:00.

A esta Sala se le realizan modificaciones a través de SimSEEdit, como se explica más adelante en el informe, de acuerdo con los objetivos a alcanzar planteados.

3. Metodología.

Armado de la serie de datos

Para comenzar se toman las series de iN34, caudales de aportes de las Centrales de Bonete, Palmar y Salto Grande (50%), viento, índice de claridad kt y temperatura (las 3 últimas series en los 4 puntos geográficos del país detallados en las hipótesis), y se genera un archivo de texto con los valores horarios en el periodo en el que se cuenta con todos los datos (abril 2014 - diciembre 2021).

El formato en el que se presentan dichos datos se presenta en la figura 5:

```

SerieGrupo1.txt Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
#6,NSeries,,,,,
2014,4,30,21,0,0, // año mes día hora minuto segundo fecha de la primera muestra
1 // Período de muestreo en horas,,,,,
67155,NPuntos,,,,,
8760,Puntos por ciclo,,,,,
,Bonete_Temperature,Acegua_Temperature,Monteideo_Temperature,Salto_Temperature,Bonete_WindSpeed,Acegua_WindSpeed,Montevideo_WindSpeed,Salto_WindSpeed,Bonete_kT,Acegua_
1,17.476615,16.053351,17.224413,17.731014,4.60977194444444,5.0249375,4.49221555555556,6.99213777777778,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,
2,17.436615,15.823351,17.084413,16.921015,1.89999991666667,3.905125,3.42052583333333,5.26972444444445,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,
3,16.636615,15.793351,17.564413,15.871015,1.88679611111111,2.25610277777778,2.75136277777778,5.78013833333333,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,
4,16.016615,15.493351,17.224413,14.901015,2.36008458333333,2.14709083333333,3.1622775,6.67083222222222,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,
5,15.926615,15.573351,17.084413,14.321015,3.08058416666667,4.32666138888889,3.72158888888889,6.57951361111111,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,
6,16.036615,15.533351,17.154413,13.961015,2.64007583333333,3.76961527777778,3.50570944444444,6.22414638888889,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,
7,15.666615,15.343351,17.124413,13.591015,3.90497166666667,3.48855277777778,3.64805486111111,5.80517027777778,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,
8,15.166615,15.463351,17.034413,13.541015,3.61247833333333,4.47213611111111,4.65188138888889,6.14003222222222,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,
9,14.476615,15.393352,16.814413,13.441015,4.60108638888889,5.8,6.32455444444444,5.99082583333333,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,
10,13.916615,15.223351,16.624413,13.271015,6.80073527777778,6.12943694444444,5.42033194444444,5.66038888888889,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,
11,13.736615,15.113351,16.424414,13.071015,6.51920222222222,6.58634916666667,6.04400527777778,5.50098888888889,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,
12,14.046615,15.323351,16.004414,13.071015,6.2936475,7.90759083333333,6.862215,5.18941194444444,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,
13,14.836615,15.983352,15.974413,13.501015,6.36553222222222,9.15860277777778,6.50691888888889,5.16236388888889,0.311649831649832,0.13453488372093,0.322463768115942,0.35
14,15.686615,16.053351,15.984413,14.801015,6.36553222222222,9.48212777777778,6.43816666666667,4.83218333333333,0.339207547169811,0.24808362699338,0.31432539625397,0.435
15,16.586615,16.953351,16.024412,16.981014,6.36553222222222,8.78464583333333,7.08378361111111,4.40444083333333,0.339047619047619,0.127649395750332,0.356520467836257,0.56
16,17.476615,17.343351,15.954412,18.701014,6.37024361111111,7.77946055555556,6.57951361111111,4.45533888888889,0.36658682634731,0.207598152424942,0.389513690773867,0.55
17,18.936615,17.973351,15.964413,20.291014,6.3780875,7.6844,6.22896388888889,3.80131527777778,0.487189616252822,0.294052863436123,0.348896713615023,0.637093232104121,0.4
18,19.186615,19.663351,15.944412,21.161015,6.74166111111111,7.14702722222222,5.51724527777778,3.30151472222222,0.616709154113557,0.522811428751429,0.315253012048193,0.6
19,19.346615,20.123351,15.924414,21.551014,6.66483305555556,7.42158944444444,4.52769277777778,2.80178527777778,0.6848828125,0.667789297789337,0.381601085481683,0.6952444
20,19.156616,19.813351,16.194412,21.441013,5.798275,7.49533166666667,6.67967388888889,2.2825425,0.722850082372323,0.663779264214047,0.553367875647668,0.641878757575758,0.6
21,18.596615,19.013351,16.074413,21.141014,4.90408,7.33484805555556,2.69258222222222,1.77200444444444,0.712455242966752,0.646621983914209,0.684429347826087,0.67,0.4,1174
22,16.266615,16.453351,15.794413,19.871014,4.40454277777778,7.10211222222222,2.20907211111111,1.41421344444444,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,
23,14.876615,14.993351,15.604413,18.801014,4.30292111111111,7.45251666666667,2.41660916666667,1,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,
24,13.986615,13.923351,15.224413,18.031013,3.96610638888889,7.54520888888889,3.80131527777778,0.3,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,
25,13.546616,13.233352,14.984413,17.561014,3.24499638888889,7.78331555555556,5.7140175,1.118034,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,
26,12.426616,11.943351,16.504414,15.001015,4.20119,7.11758333333333,6.04069555555556,3.15753027777778,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,
27,11.856615,10.793351,16.244413,14.251015,3.70135083333333,6.81835694444444,5.54904527777778,3.80131527777778,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,
28,11.346616,9.993351,16.114412,13.151015,3.64965694444444,6.60681388888889,6.30317361111111,4.9,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,
29,10.976616,9.373351,16.164413,12.611015,3.71079472222222,6.1,6.11310055555556,5.80344777777778,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,
30,11.016616,8.653351,16.334414,12.301015,3.80788638888889,6.11310055555556,6.02079222222222,6.40078111111111,-12111,-12111,-12111,-12111,0.4,1174.5,91,5084.3,

```

Figura 5: Archivo de texto para análisis de datos

Donde:

- 16 son las series que tiene
- 2014,4,30,21,0,0 son el año, mes, día, hora, minuto, segundo de la primera muestra
- 1 es el período de muestreo en horas.
- 67155 es la cantidad de puntos por serie.
- 8760 es la cantidad de puntos para el ciclo principal (horas por año).
- Debajo, a continuación, se escriben los nombres de las series
- Por último, en cada fila se concatena un identificador de la muestra con los valores del paso de cada una de las series.

Creación del CEGH

Este archivo es ingresado en el programa Análisis Serial, además de editarse algunos parámetros particulares:

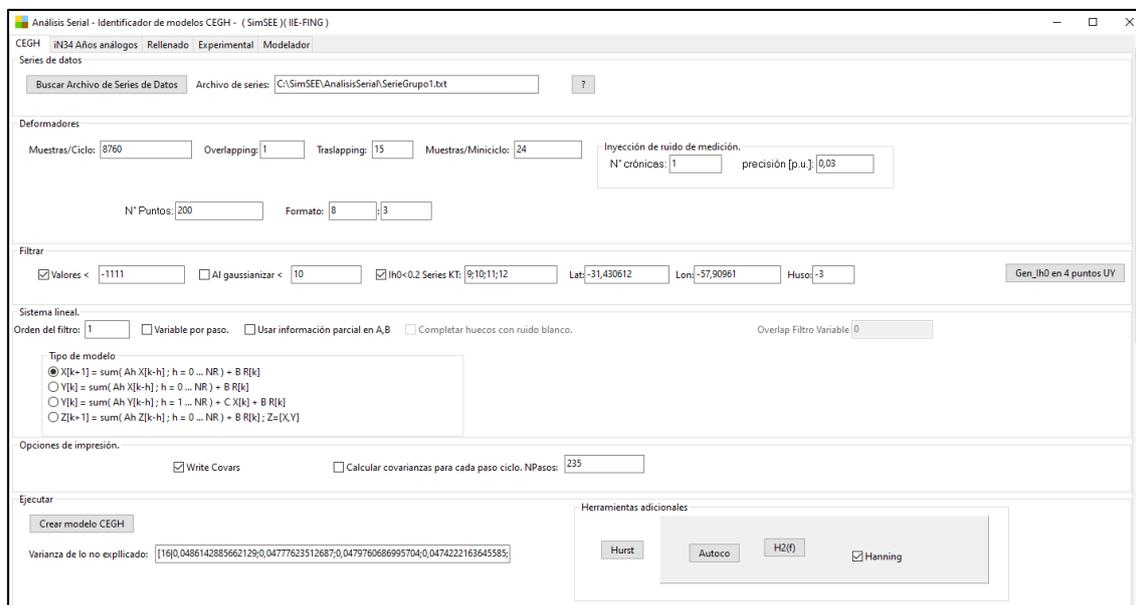


Figura 6: Análisis serial

Deformadores:

- *Muestras/Ciclo* coincide con el ciclo principal de la serie de datos temporales (8760).
- *Overlapping* se fija en 1, no buscamos imprecisión temporal a nivel horario.
- *Traslapping* se fija en 15, para que un determinado valor se pueda dar a la misma hora, pero en un rango de ± 15 días (Traslapping permite dar a la muestra saltos de a 1 miniciclo).
- *Muestras/Miniciclo* permite fijar un mini-ciclo de 24 horas (1 día).

Filtrar:

- En *Ih0 < 0.2 Series KT* se indican como tales las 4 señales de índice KT de la radiación solar.
- *Orden del filtro: 1*. Se toma de orden 1 porque el error, aquello que el modelo no logra predecir sobre los datos (la varianza de lo no explicado), no disminuye y se decide no seguir agregando complejidad al problema.

El resto de los parámetros se dejan por defecto y pueden ser consultados en el Manual de Análisis Serial²

Con este procedimiento se obtiene el nuevo CEGH.

² Manuales de Usuario SimSEE, Volumen 5 – AnálisisSerial.

<https://simsee.org/simsee/verdoc.php?topico=analisisserial-manualdeusuario&idioma=&seccion=3830>

Edición del CEGH

Analizando con espíritu crítico el nuevo CEGH, sabemos que los valores tienen una riqueza estadística relativa, viendo que provienen de series que son “cortas” para eventos como el Niño que tienen “baja frecuencia”.

Por eso se decide editar el archivo CEGH, tratando de respetar la información previa de la sala referente a caudales e iN34, entendiendo que contiene mayor significancia estadística.

En la edición del CEGH se sustituyen algunos elementos:

- Las descripciones de las funciones deformantes de las series iN34, Aportes de Bonete, Aportes de Palmar y Aportes de Salto Grande, en las cuales se dejan las del CEGH original.
- Las funciones de las matrices que describen el filtro lineal, los cuales se muestran y detallan en la figura 7:

		Bonete_temperature	Aeagua_temperature	Montevideo_temperature	Salto_temperature	Bonete_WindSpeed	Aeagua_WindSpeed	Montevideo_WindSpeed	Salto_WindSpeed	Bonete_kT	Aeagua_kT	Montevideo_kT	Salto_kT	iN34	Bonete_Aportes	Palmar_Aportes	Salto_Aportes
Bonete	temperature	0.8755219	0.00229496	0.06678904	0.05561056	0.04422765	0.00758813	0.00709058	0.00089617	0.0190982	0.00822618	0.01484149	0.00058858	0.00552572	0.01407144	0.00063502	0.00017382
Aeagua	temperature	0.02277373	0.88274524	0.0275567	0.05490173	0.00984805	0.03190287	0.00952948	0.00193662	0.00813538	0.03560457	0.03381999	0.01009666	0.00310489	0.000661269	0.00948911	0.00470346
Montevideo	temperature	0.04646654	0.00704059	0.98499339	0.02954594	0.0175976	0.01800045	0.01501506	0.00622048	0.01241327	0.01800417	0.03208748	0.00565148	0.00558864	0.00738139	0.00403376	0.00238863
Salto	temperature	0.02380226	0.00528835	0.03454522	0.93386021	0.00568885	0.00396394	0.01089544	0.01690013	0.00713315	0.01148355	0.03336979	0.02465501	0.00384031	0.01113705	0.00573588	0.00765411
Bonete	WindSpeed	0.04945986	0.02238934	0.01380713	0.05906902	0.98018338	0.02935759	0.06570806	0.03882124	0.01067422	0.01094485	0.01056004	0.00777613	0.00169134	0.00069381	0.00310983	0.00422889
Aeagua	WindSpeed	0.00679835	0.01688219	0.01757824	0.01204588	0.06049933	0.89960288	0.00446779	0.02744038	0.00270639	0.00018799	0.01615100	0.00625288	0.00234537	0.00481088	0.00331855	0.00137838
Montevideo	WindSpeed	0.04644435	0.0136213	0.02422625	0.06013007	0.02626134	0.02028724	0.89802264	0.00631363	0.00661986	0.00025877	0.01428493	0.00073532	0.00548885	0.00433459	0.00080857	0.00312683
Salto	WindSpeed	0.01813594	0.01557821	0.0246606	0.02674631	0.0252691	0.01310042	0.0061142	0.39658334	0.00072951	0.01692454	0.03306119	0.00704697	0.00555878	0.00852111	0.00572637	0.00276813
Bonete	kT	0.0292424	0.03179946	0.00921536	0.03150668	0.0181368	0.01033233	0.00635201	0.00992976	0.79817185	0.03814118	0.07965518	0.05758725	0.0070372	0.01425905	0.00174408	0.00597017
Aeagua	kT	0.00455692	0.05560281	0.00492637	0.05330223	0.01657674	0.01891258	0.02268025	0.00539263	0.08679015	0.81757122	0.00454731	0.04679101	0.00424708	0.00117873	0.00573467	0.0055125
Montevideo	kT	0.0216256	0.02725532	0.04917783	0.00315723	0.01308122	0.00697297	0.00718258	0.00115098	0.06218446	0.00584136	0.38456287	0.0002124	0.00350656	0.00791612	0.00021684	0.00483154
Salto	kT	0.00729554	0.03265396	0.00041485	0.03231721	0.01796215	0.01377743	0.01628383	0.00028357	0.05070519	0.0342523	0.00041564	0.8457211	0.00481479	0.01461364	0.00468385	0.01059736
iN34		1.4824E-06	1.2399E-06	2.5692E-07	3.8401E-08	1.7173E-07	4.1348E-07	5.287E-07	2.5541E-07	4.8578E-09	2.888E-07	4.3246E-08	2.239E-07	0.99987334	3.0598E-07	7.288E-07	5.5524E-08
Bonete	Aportes	1.1766E-06	1.19E-06	2.9047E-07	1.6962E-06	3.422E-07	3.359E-07	1.7538E-07	2.5486E-07	7.3397E-07	4.1536E-08	4.953E-07	3.4011E-07	3.0559E-07	0.99997673	1.1725E-05	8.7882E-08
Palmar	Aportes	1.3793E-06	8.09E-07	4.6998E-07	8.8122E-07	4.06E-07	1.2039E-07	4.6739E-07	6.904E-08	2.2822E-08	2.0643E-07	2.7636E-07	8.5038E-07	7.268E-07	1.1725E-05	0.99986134	3.6774E-07
Salto	Aportes	1.1491E-06	3.0041E-07	5.9008E-07	1.7898E-06	3.4343E-07	6.7079E-08	6.1248E-08	6.5269E-08	5.1998E-07	3.739E-07	5.8866E-07	1.0443E-08	5.4524E-06	8.7882E-06	3.6774E-07	0.99986134

Figura 7: Matriz A del filtro lineal (valor absoluto)

A esta tabla que muestra el valor absoluto de los elementos de la matriz A, se le aplicó formato condicional, y podría leerse como la magnitud de la tendencia entre el paso anterior de la serie de esa columna y el valor de la serie de esa fila.

Por lo explicado al inicio de esta sección, en esta matriz se sustituyen por ceros los elementos de las filas de las series: iN34, Aportes_Bonete, Aportes_Palmar y Aportes_Salto que se relacionan con las series de Temperatura, Viento y kt del paso anterior (en las columnas), entendiendo que las series de temperatura, viento y kt no mejorarían lo ya conocido para las series de iN34 y aportes, dado que provienen de series originales con mucha más información. Con el mismo criterio se sustituyen los elementos de la matriz que relacionan las series de iN34 y los aportes con su propio paso anterior (es decir los del cuadrante de abajo a la derecha), por los valores del CEGH original de la sala (*SintetizadorCEGH_BPS_iN34_cmoBR_Horario_CVE.txt*). Además, se deben sustituir con el mismo criterio los elementos de la matriz B.

Por último, como se muestra en la figura 8 se decide conservar la reducción de variables de estado propuesta en el CEGH original de la sala:

nVE	2																	
nd1	4 H_RN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.307	0.12	0	EstadoInicial	0
probs	0.25 0.25	0.25	0.25															
nd2	4 H_S	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	EstadoInicial	0
probs	0.25 0.25	0.25	0.25															

Figura 8: Extracto de archivo CEGH - reducción de variables de estado

Implementación en la Sala de Corto Plazo

Para comenzar se toma la última sala de paso horario de la web de ADME, la que es editada como comentaremos en esta sección.

Primero se crea una fuente Sintetizador CEGH utilizando como archivo de datos el que se creó con el programa Análisis Serial. Se activa la opción “*usar modelo como simplificado*” y se toma como fecha de inicio 25/05/1900 para que no jueguen los pronósticos.

En este paso tuvimos un inconveniente, que se solucionó editando en el encabezado del archivo: *VERSION_FORMATO_CEGH: 7*, por un 6. El problema fue que siendo “*versión 7*” esperaba poder leer la matriz de covarianzas al final del archivo, y nosotros la habíamos eliminado como en el archivo de datos para CEGH original de la sala (*SintetizadorCEGH_BPS_iN34_cmoBR_Horario_CVE.txt*). Como se editaron varios elementos de ese archivo, se había concluido que no era correcto usar esa matriz para reconstruir las variables de estado.

Luego de creada la Fuente, se asocian sus bornes a cada uno de los Actores que anteriormente se conectaban a las Fuentes originales.

Una vez completado esto, se eliminan las Fuentes CEGH: *PEoIPSol* y *Aportes*.

En esta etapa también es necesario crear Actores nuevos para eólica y solar ya que los modelados originalmente en la sala no son compatibles con las unidades de nuestro CEGH (están creados en p.u.).

Por esto se importan de la sala de Programación Estacional (PES) de paso diario, 4 parques eólicos: Maldonado, Pampa, Juan Pablo Terra y Melowind, y un fotovoltaico: El Naranjal; redimensionando la potencia máxima de todos ellos para obtener el total de la potencia instalada en el país, considerando además su distribución geográfica para asociarles el borne de la Fuente que le corresponde. Por ejemplo, al parque eólico Juan Pablo Terra se le asocia el viento en Salto.

A continuación, se presenta en la tabla 1 el detalle del modelado para cada generador:

	Juan Pablo Terra	Pampa	Maldonado	Melowind	El Naranjal
Potencia (MW)	149	397	846	109	220
Borne de la Fuente	Viento Salto	Viento Bonete	Viento Montevideo	Viento Aceguá	kt Salto

Tabla 1: Detalle modelado para cada generador

El criterio para la distribución de la potencia es relevar (por tipo) dónde están ubicados todos los generadores y asociarlos a alguno de los 4 puntos geográficos de donde provienen las señales.

En la figura 9 puede observarse la mayor densidad de parques eólicos (E) ubicados en la zona centro y sur del país, mientras que en el caso de los fotovoltaicos (F) se concentran en el litoral oeste y cercanías de Salto. Y como referencia, también se pueden observar las centrales hidroeléctricas (H).



Figura 9: Ubicación fuentes de energía eólico, solar e hidráulico

Como anotación, al final de esta sección queremos comentar un problema con el que nos encontramos, una limitante del SimSEE. Inicialmente habíamos decidido trabajar sobre la sala de programación estacional, de paso diario y al momento de la optimización emergió el siguiente error:

rbt[0]: La fuente está esclavizada en un sub-sorteo pero tiene estado. Debe cambiarla por un modelo acorde al paso de tiempo de la sala.

Por lo que se entendió que el CEGH horario, al tener Estado, debía tener el mismo paso de tiempo que la sala.

Ajustes en la plantilla SimRes3 de la sala

Para poder medir una eventual mejora con lo implementado, se toma la plantilla de la sala y se realizan algunas modificaciones. Se generan nuevos índices para disponer de las potencias de todos los parques y se editan operaciones crónicas vinculadas a estos. Luego se eliminan índices, variables y operaciones no utilizadas.

Comparación

Para poder comparar y detectar una eventual mejora, lo que sería un mejor aprovechamiento de los recursos y una disminución de los costos, se optimizan ambas salas, la original y la modificada, para obtener sus correspondientes costos futuros que contienen sus respectivas políticas de operación. Luego se simulan con la sala modificada, para que al simular se generen las series con las correlaciones arregladas, pero usando los costos futuros de ambas optimizaciones (de la más informada y de la menos informada), para poder comparar entonces los resultados de la simulación.

4. Resultados del estudio.

Análisis de la matriz de covarianzas

Entre los archivos creados por el programa Análisis Serial se encuentra una planilla que contiene la matriz de covarianzas ($X.X^T$). De la misma se puede extraer algo de información sobre las series de datos.

Para poder darle rápida y visualmente una interpretación, se le aplica formato condicional sobre el valor absoluto de sus elementos como se puede observar en la figura 10.

		Bonete_temperature	Acegua_temperature	Montevideo_temperature	Salto_temperature	Bonete_WindSpeed	Acegua_WindSpeed	Montevideo_WindSpeed	Salto_WindSpeed	Bonete_kT	Acegua_kT	Montevideo_kT	Salto_kT	IN34_	Bonete_Aportes	Palmar_Aportes	Salto_Aportes
Bonete	temperature	1.0000	0.8157	0.7433	0.8225	0.1718	0.1682	0.1155	0.1900	0.0298	0.0853	0.0060	0.0764	0.0218	0.0882	0.0328	0.0448
Acegua	temperature	0.8157	1.0000	0.6704	0.8159	0.0745	0.1332	0.0606	0.1064	0.1665	0.0867	0.1628	0.2002	0.0147	0.0257	0.0342	0.0453
Montevideo	temperature	0.7433	0.6704	1.0000	0.6723	0.1192	0.1699	0.1752	0.1728	0.0964	0.0624	0.0636	0.0942	0.0306	0.0266	0.0166	0.0014
Salto	temperature	0.8225	0.8159	0.6723	1.0000	0.0619	0.1136	0.0684	0.1488	0.0564	0.0874	0.0666	0.0063	0.0266	0.1138	0.0380	0.1134
Bonete	WindSpeed	0.1718	0.0745	0.1192	0.0619	1.0000	0.6396	0.5980	0.5381	0.1822	0.1881	0.1796	0.1694	0.0309	0.0234	0.0275	0.0341
Acegua	WindSpeed	0.1682	0.1332	0.1699	0.1136	0.6396	1.0000	0.4184	0.5231	0.1287	0.1591	0.1245	0.1083	0.0041	0.0062	0.0109	0.0167
Montevideo	WindSpeed	0.1155	0.0606	0.1752	0.0684	0.5930	0.4184	1.0000	0.3647	0.1130	0.0570	0.1484	0.0580	0.0445	0.0182	0.0311	0.0225
Salto	WindSpeed	0.1900	0.1064	0.1728	0.1488	0.5381	0.5231	0.3647	1.0000	0.1281	0.1670	0.1238	0.1496	0.0336	0.0509	0.0385	0.0464
Bonete	kT	0.0298	0.1665	0.0964	0.0564	0.1822	0.1287	0.1130	0.1281	1.0000	0.6777	0.6681	0.6843	0.0420	0.1883	0.1859	0.1009
Acegua	kT	0.0853	0.0867	0.0624	0.0874	0.1831	0.1591	0.0570	0.1670	0.6777	1.0000	0.4542	0.6382	0.0767	0.1668	0.1524	0.1338
Montevideo	kT	0.0060	0.1628	0.0636	0.0666	0.1796	0.1245	0.1484	0.1238	0.6681	0.4542	1.0000	0.4700	0.0208	0.1375	0.1420	0.0488
Salto	kT	0.0764	0.2002	0.0942	0.0063	0.1694	0.1089	0.0580	0.1496	0.6843	0.6382	0.4700	1.0000	0.0754	0.2174	0.2068	0.1711
IN34		0.0218	0.0147	0.0306	0.0266	0.0309	0.0041	0.0445	0.0386	0.0420	0.0767	0.0208	0.0754	1.0000	0.2609	0.2028	0.4473
Bonete	Aportes	0.0882	0.0257	0.0266	0.1188	0.0234	0.0062	0.0182	0.0508	0.1883	0.1668	0.1375	0.2174	0.2609	1.0000	0.6612	0.5762
Palmar	Aportes	0.0328	0.0342	0.0166	0.0361	0.0275	0.0109	0.0311	0.0395	0.1859	0.1524	0.1420	0.2068	0.2028	0.6612	1.0000	0.3777
Salto	Aportes	0.0448	0.0453	0.0014	0.1134	0.0341	0.0167	0.0225	0.0464	0.1009	0.1338	0.0498	0.1711	0.4473	0.5762	0.3777	1.0000

Figura 10: Matriz de covarianza

Se puede ver que los elementos de la diagonal tienen acertadamente valor 1.

Luego, para temperatura, viento y kt la correlación entre los 4 puntos geográficos es relativamente alta. También así lo parece (aunque en menor medida) entre los caudales de aportes de las Centrales y el IN34.

Saliendo de los cuadrantes de la diagonal, no parece haber una correlación relevante de los caudales de aportes tanto con las temperaturas como con el viento.

Sin embargo, se observa cierta correlación entre los kt tanto con el viento como con los caudales.

Si por otro lado se hace un análisis respecto del signo de los elementos de la matriz, se puede interpretar algún otro resultado:

- La correlación que tiene el viento con la temperatura y con el kt, es negativa. Lo mismo ocurre entre el kt y los caudales de aportes.
- Para ciertas señales cuyos elementos en la matriz tienen coincidentemente bajo valor absoluto en general, las correlaciones dieron en algunos casos positivas y en otros negativas. Esto ocurrió entre las señales de temperaturas con las de kt y con las de aportes.

		Bonete_temperature	Acegua_temperature	Montevideo_temperature	Salto_temperature	Bonete_WindSpeed	Acegua_WindSpeed	Montevideo_WindSpeed	Salto_WindSpeed	Bonete_kT	Acegua_kT	Montevideo_kT	Salto_kT	IN34_	Bonete_Aportes	Palmar_Aportes	Salto_Aportes
Bonete	Temp.	1.0000	0.8157	0.7433	0.8225	-0.1718	-0.1682	-0.1155	-0.1900	0.0293	0.0853	0.0060	-0.0764	0.0218	-0.0882	-0.0328	-0.0448
Acegua	Temp.	0.8157	1.0000	0.6704	0.8159	-0.0745	-0.1332	-0.0606	-0.1064	-0.1665	0.0867	-0.1628	-0.2002	-0.0147	-0.0257	0.0342	-0.0453
Montevideo	Temp.	0.7433	0.6704	1.0000	0.6723	-0.1192	-0.1699	-0.1752	-0.1728	-0.0364	0.0624	0.0636	-0.0942	0.0306	-0.0266	0.0166	-0.0014
Salto	Temp.	0.8225	0.8159	0.6723	1.0000	-0.0619	-0.1136	-0.0684	-0.1488	-0.0564	0.0874	-0.0666	-0.0063	-0.0266	-0.1188	-0.0360	-0.1134
Bonete	Wspeed	-0.1718	-0.0745	-0.1192	-0.0619	1.0000	0.6396	0.5930	0.5381	-0.1822	-0.1831	-0.1796	-0.1694	0.0309	0.0234	0.0275	0.0341
Acegua	Wspeed	-0.1682	-0.1332	-0.1699	-0.1136	0.6396	1.0000	0.4184	0.5231	-0.1287	-0.1591	-0.1245	-0.1089	0.0041	0.0062	0.0109	0.0167
Montevideo	Wspeed	-0.1155	-0.0606	-0.1752	-0.0684	0.5930	0.4184	1.0000	0.3647	-0.1130	-0.0570	-0.1484	-0.0580	0.0445	0.0182	0.0311	0.0225
Salto	Wspeed	-0.1900	-0.1064	-0.1728	-0.1488	0.5381	0.5231	0.3647	1.0000	-0.1281	-0.1670	-0.1238	-0.1496	0.0336	0.0509	0.0395	0.0464
Bonete	kT	0.0293	-0.1665	-0.0364	-0.0564	-0.1822	-0.1287	-0.1130	-0.1281	1.0000	0.6777	0.6681	0.6843	-0.0420	-0.1883	-0.1859	-0.1009
Acegua	kT	0.0853	0.0867	0.0624	0.0874	-0.1831	-0.1591	-0.0570	-0.1670	0.6777	1.0000	0.4542	0.6382	-0.0767	-0.1668	-0.1524	-0.1338
Montevideo	kT	0.0060	-0.1628	0.0636	-0.0666	-0.1796	-0.1245	-0.1484	-0.1238	0.6681	0.4542	1.0000	0.4700	-0.0208	-0.1375	-0.1420	-0.0498
Salto	kT	-0.0764	-0.2002	-0.0942	-0.0063	-0.1694	-0.1089	-0.0580	-0.1496	0.6843	0.6382	0.4700	1.0000	-0.0754	-0.2174	-0.2068	-0.1711
IN34		0.0218	-0.0147	0.0306	-0.0266	0.0309	0.0041	0.0445	0.0336	-0.0420	-0.0767	-0.0208	-0.0754	1.0000	0.2609	0.2028	0.4479
Bonete	Apo.	-0.0882	-0.0257	-0.0266	-0.1188	0.0234	0.0062	0.0182	0.0509	-0.1883	-0.1668	-0.1375	-0.2174	0.2609	1.0000	0.6612	0.5762
Palmar	Apo.	-0.0328	0.0342	0.0166	-0.0360	0.0275	0.0109	0.0311	0.0395	-0.1859	-0.1524	-0.1420	-0.2068	0.2028	0.6612	1.0000	0.3777
Salto	Apo.	-0.0448	-0.0453	-0.0014	-0.1134	0.0341	0.0167	0.0225	0.0464	-0.1009	-0.1338	-0.0498	-0.1711	0.4479	0.5762	0.3777	1.0000

Figura 11: Matriz de covarianza con identificación de valores positivos y negativos

Análisis de la implementación en la Sala

En este análisis se comparan dos salas (una con las modificaciones y la otra original), cada una con su propia política de operación óptima (equivalente a la función de costo futuro), resultante de la información conocida. La diferencia entre ellas es que una “está más informada” que la otra.

El costo total de operación en cada una de ellas resulta de la suma de los costos directos incurridos en el período de simulación, más el valor de la función costo futuro evaluado en el estado alcanzado por el sistema.

Procediendo de esa manera, se optimiza la sala original con los siguientes parámetros:

- Semilla de optimización: 31
- N° de crónicas a sortear: 1

Luego se simula en la sala modificada, con los siguientes parámetros:

- Semilla de simulación: 31
- N° de crónicas a simular: 1000

y tomando el archivo CF.bin de su optimización, se obtiene un CF_VE de 170,28 MUSD y un costo directo acumulado de 7,02 MUSD, lo que da un costo total de 177,30 MUSD.

A continuación, se optimiza y simula la sala modificada con los mismos parámetros comentados anteriormente y se obtiene un CF_VE de 184,89 MUSD y un costo directo acumulado de 7,88 MUSD, lo que da un costo total de 192,77 MUSD.

Simulación en la sala modificada con CF optimizado en la sala original

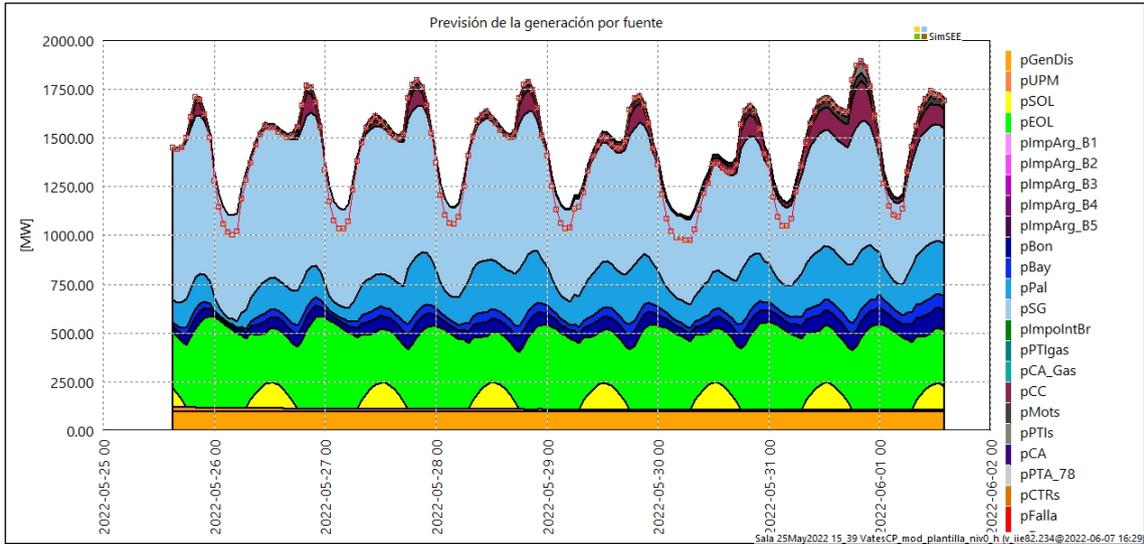


Gráfico 1: Previsión de generación por fuente en la sala original

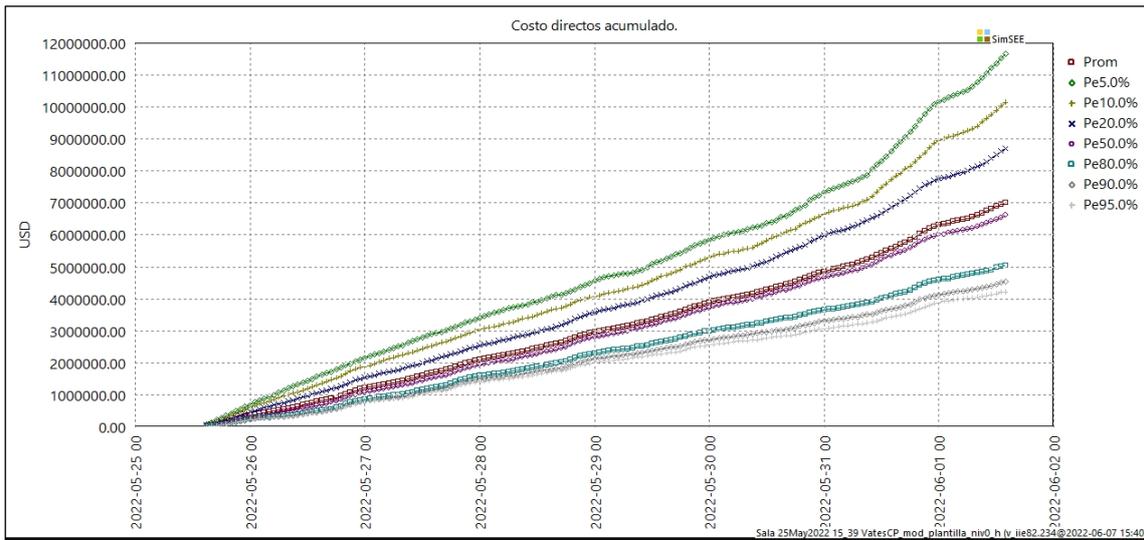


Gráfico 2: Costos directos acumulados en la sala original

Simulación en la sala modificada con CF optimizado con la sala modificada

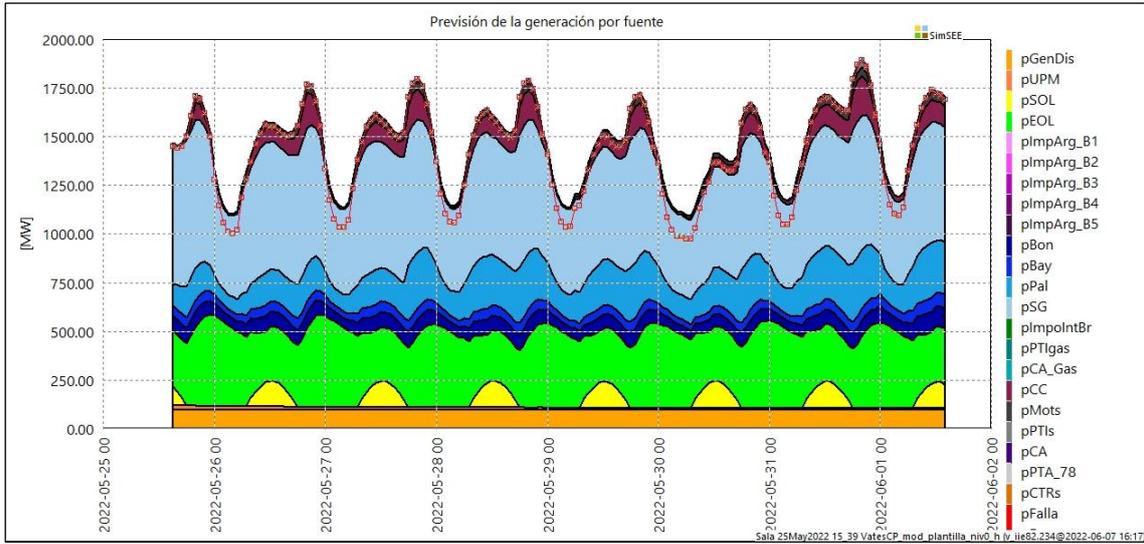


Gráfico 3: Previsión de generación por fuente en la sala modificada

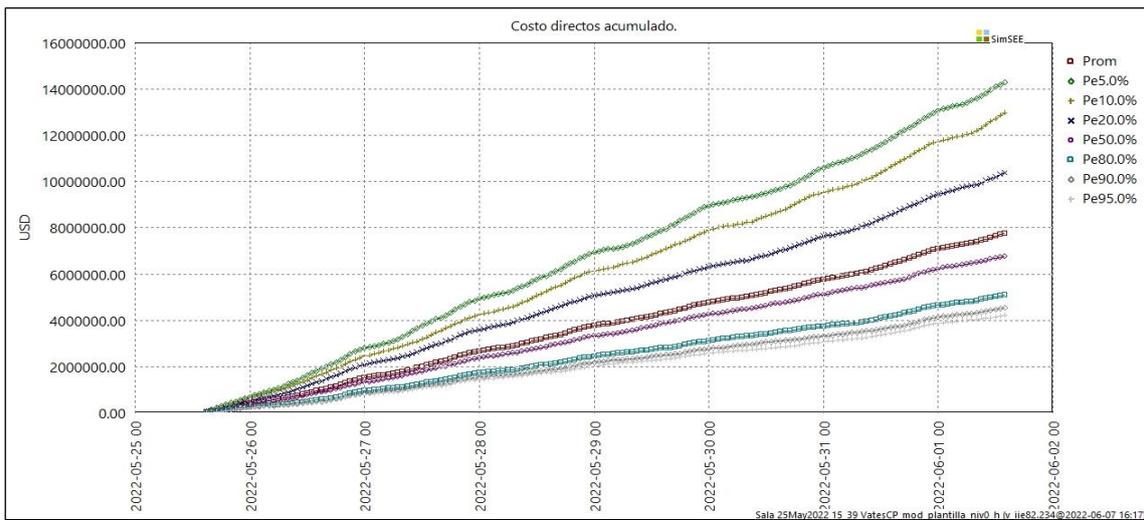


Gráfico 4: Costo directos acumulados en la sala modificada

Tabla comparativa con energía semanal. Demanda y Generación por Tipo (valor esperado)

	SALA ORIGINAL (GWh)	SALA MODIFICADA (GWh)
DEMANDA	240.8	240.7
EÓLICO	58.6	58.6
FOTOVOLTÁICO	6.7	6.7
HIDRÁULICO	↑ 152.5	↓ 148.0
TÉRMICO	↓ 11.1	↑ 15.7
FALLA	0.171	↓ 0.146

Tabla 2: energía semanal para abastecer demanda por tipo

En la tabla 2 puede observarse que la gran diferencia entre la sala modificada y la original es que despacha menos recurso hidráulico y lo suple con térmico.

Tabla comparativa de valores del agua promedio

	SALA ORIGINAL (USD)			SALA MODIFICADA (USD)		
	Salto	Palmar	Bonete	Salto	Palmar	Bonete
Valor inicial	33,63	55,21	63,20	↑ 95,82	↑ 107,70	↑ 65,16
Valor final	112,19	81,85	51,99	↑ 113,49	↑ 106,89	↑ 59,59

Tabla 3: Valores de agua promedio

En la tabla 3 puede observarse como en la sala modificada el agua tiene un valor más alto durante todo el período.

Tabla comparativa de cotas

	SALA ORIGINAL (m)			SALA MODIFICADA (m)		
	Salto	Palmar	Bonete	Salto	Palmar	Bonete
Cota inicial	34,84	38,78	75,49	= 34,84	= 38,78	= 75,48
Cota Final	33,58	38,60	75,70	↑ 34,24	↑ 38,68	↓ 75,66

Tabla 4: Comparación de cotas

En la tabla 4 puede observarse que la cota final en la sala modificada está levemente por encima en las centrales de Salto Grande y de Palmar (pero lejos de generar riesgo de vertimiento), y levemente por debajo en la central Bonete (pero lejos de la cota mínima).

Por lo visto en estas tablas se podría concluir que la valorización más alta del agua en la sala modificada se debe a dos posibles motivos:

1. que “ve” menos disponibilidad de energía a futuro de los otros recursos dinámicos (que serían el eólico y el fotovoltaico), pero ese no parecería ser el caso porque ambas salas ven exactamente la misma cantidad de energía de este tipo en este período.
2. que la sala “ve” menos aportes a sus embalses en el futuro, por lo que decide guardar el agua y despachar más térmico.

Variación del costo futuro en función de los parámetros de la simulación

Por último, con el objetivo de evaluar la sensibilidad de los resultados obtenidos ante variaciones en alguno de los parámetros, se analiza su independencia respecto de la semilla aleatoria utilizada para la optimización y para la simulación, así como también aumentando el número de crónicas a sortear en la optimización; para tener así una idea de la precisión de los resultados obtenidos:

- Solo cambiando la semilla de optimización a 56, el CF resulta **185,5 MUSD**, lo que muestra no tener una sensibilidad de los resultados respecto de la semilla en la etapa de optimización. Igualmente se prueba aumentar el número de crónicas a sortear.
- Cambiando las semillas de optimización y simulación a 56 se obtiene un CF de **185,6 MUSD**, lo que tampoco es significativo.
- Solo aumentando el número de crónicas a sortear en la optimización a 5, el CF cambia a **183,3 MUSD** (como el tiempo de cálculo en la etapa de optimización es directamente proporcional al número de crónicas de la optimización, se decide tomar 5, un valor relativamente alto dado el compromiso entre exactitud y velocidad de cálculo). Este resultado, como es de esperar, no varía significativamente respecto al primero.

5. Posibles futuros trabajos.

Este trabajo lejos de estar concluido es más bien un punto de partida.

Se evidencian series cuya correlación es más fuerte, sobre las que podría centrarse inicialmente un futuro trabajo, para incorporarlas a una fuente en una sala de interés.

Se recomienda fuertemente centrarse en pocas señales, definiendo criterios que las determinen representativas. Por ejemplo, tomar una sola señal de viento, representativa para todo el territorio.

Todo trabajo que vaya en la dirección de mejorar la capacidad de pronosticar el costo de operación del período con un operador más informado tiene el camino abierto en este sentido incorporando fuentes CEGH al modelo.

6. Bibliografía.

- *Manuales de Usuario de SimSEE.* [SimSEE](#)
- *Administración del Mercado Eléctrico* [ADME](#)
- *Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas* [UTE](#)
- *Considering the information of The Niño 3.4 index in the operation of the Electrical System of Uruguay (2010) - [CHAER, TERRA, DÍAZ, ZORRILLA].*
<https://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2010/CTDZ10/CTDZ10.pdf>
- [Clase 11 - Rafael Terra N34 y repaso](#)