



Informe Modelos - 1

Noviembre 2020 - Abril 2021

Administración del Mercado Eléctrico.
Gerencia Técnica y Despacho Nacional de Cargas.

*27 de octubre de 2020
Montevideo - Uruguay*

1. Resumen ejecutivo.

El presente informe contiene las modificaciones recientes a las herramientas de simulación/optimización así como cambios en la forma de modelado del Sistema Interconectado Nacional (SIN) alcanzando hasta la versión SimSEE viie44_208.

En la sección 2 se documenta el cambio en el generador de números aleatorios. El cambio se motiva en que se detectó que el generador de números aleatorios anterior presentaba correlación detectable entre los números generados en ciertas condiciones.

En la sección 3 se presenta un análisis del error en la determinación del valor esperado de una variable mediante simulaciones en función del número de crónicas simuladas y del rango de la variable. Esta sección responde a una inquietud planteada sobre la variabilidad del valor esperado de la generación hidráulica anual, cuando la misma es estimada en base a 100 crónicas de simulación.

En la sección 4 se presenta el impacto sobre los resultados de la Programación Estacional del precio considerado para la exportación de los excedentes turbinables de energías renovables (eólica, solar, hidráulica).

En la sección 5 se presenta la metodología utilizada para modelar el precio visto para los intercambios con Brasil en la Programación Estacional.

En la sección 6 se presenta el detalle del modelado del ciclo combinado utilizado en la Programación Estacional para tener en consideración la posibilidad de operar con gas natural y con gasoil.



2. Cambio versión SimSEE viie43_207. Mejora del Generador de Números Pseudoaleatorios

Ruben Chaer.

12 de octubre de 2020

Montevideo - Uruguay

2.1. Resumen Ejecutivo

La plataforma SimSEE utiliza en forma extensiva Generadores de Números Pseudoaleatorios (GNPs). En setiembre de 2020, en oportunidad de la ejecución del proyecto ANII_FSE_1_2017_1_144926 Planificación de inversiones con energías variables, restricciones de red y gestión de demanda, se detectó que el GNP utilizado presentaba imperfecciones, mostrando cierta correlación entre sorteos consecutivos.

Por este motivo, se decidió cambiar el algoritmo utilizado para GNPs pasando a implementar el propuesto por: M. Matsumoto and T. Nishimura, "Mersenne Twister: A 623-Dimensionally Equidistributed Uniform Pseudo-Random Number Generator", ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation, Vol. 8, No. 1, January 1998, pp 3--30.

Este cambio ameritó la publicación de la versión viie43_207 de SimSEE.

Se aclara que todo GNPs es imperfecto en el sentido de que al tratarse de un algoritmo capaz de reproducir una secuencia una vez inicializado, los sorteos sucesivos presentan correlación entre sí (es determinística la serie). Por lo que el cambio más que clasificarse como "corrección de un error" se clasifica como una "mejora"

2.2. Generador de números aleatorios

La plataforma SimSEE utiliza Generadores de Números Pseudoaleatorios (GNP) en diferentes para cada Entidad que participa de la simulación. Estos generadores de números aleatorios se inicializan con una Semilla (un número entero). El propósito de esta inicialización es que la secuencia de números aleatorios que genera cada GNP sea reproducible con el fin de poder ejecutar nuevamente un experimento (simulación) y que los resultados sean los mismos.

Estos GNPs son la base para representar todas las incertidumbres como ser aportes hidráulicos, generación eólica, solar, precio de los combustibles, y disponibilidad de unidades generadores, líneas, interconexiones. Como raíz de la generación de cualquier distribución, SimSEE utiliza un GNPs que genera una distribución uniforme en el intervalo [0,1).

Desde la creación de SimSEE hasta la versión viie43_207 (25/9/2020) el GNPs utilizado en SimSEE correspondía al algoritmo extraído del libro: Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing", W. H. Press, B. P. Flannery, S. A. Teukolsky, and W. T. Vetterling (Cambridge, 1986). En su versión original, el algoritmo utilizaba enteros de 16 bits y con el aumento en la cantidad de bits utilizados para la representación eficiente de un entero en las computadoras fue adaptado para 32 y 64 bits.

En setiembre de 2020, en oportunidad de la ejecución del proyecto ANII_FSE_1_2017_1_144926 Planificación de inversiones con energías variables, restricciones de red y gestión de demanda, se detectó que el GNP utilizado presentaba imperfecciones.

Para implementar estos GNP, SimSEE cuenta con módulo "fddp" donde se definen las características de las Funciones de Densidad De Probabilidad. En particular se implementa la clase TMadreUniforme que es la base de los GNP utilizados. Es importante hacer notar que la plataforma SimSEE ejecuta cuando es posible código en paralelo por lo cual los GNP tienen que estar preparados para trabajar en un ambiente multi-proceso manteniendo la característica de que las series de números sean reproducibles. El tradicional RANDOM disponible en casi todos los lenguajes de programación (Pascal incluido) utiliza un único GNP que se inicializa con una semilla global y por tanto si hay varios procesos concurrentes que "toman números" del GNP, no es posible asegurar que la secuencia que ve cada uno se reproduzca solo por inicializar con la misma semilla. Las secuencias dependerán de cuantos números pidieron los otros procesos entre dos pedidos de números de un mismo proceso, lo cual depende del tiempo de ejecución de cada proceso y de la carga de la computadora en que se ejecutan.

Cada instancia de TMadreUniforme es independiente de las otras y por tanto, una vez asignada a un proceso (hilo de cálculo) se asegura que la serie numérica que verá el proceso es reproducible. El código utilizado fue extraído de librerías de cálculo numérico de Fortran (Numeric Receipts).

En la implementación del Modo de Evolución 2 se intentó hacer que las Estrellitas saltaran en cada paso de tiempo en forma aleatoria en la caja del espacio de estado. Para eso se creó un GNP del tipo TMadreUniforme para cada hilo de cálculo que se inicializó con la semilla ($k\text{Trayectoria} * 31$) al inicio de la simulación de cada trayectoria. Se observaron comportamientos "extraños" en los gráficos que mostraban la evolución de las trayectorias lo que motivó realizar este análisis sobre el comportamiento estadístico de TMadreUniforme.

En las simulaciones realizadas, una Trayectoria está identificada por una Estado Inicial (o Estrellita) y por una Suerte (semilla de generadores aleatorios de SimSEE para simulación).

Si los Estados Iniciales se numeran de 1 .. NEstrellas
y las Suertes se numeran de 1..NCronicas.

La cantidad de trayectorias será
 $N\text{Trayectorias} = N\text{Estrellas} * N\text{Cronicas}$

En la implementación, las trayectorias se numeran de 1.. NTrayectorias con la siguiente asignación: $k\text{Trayectoria} := (1 - k\text{Estrella}) * N\text{Cronicas} + k\text{Cronica}$

Para hacer las pruebas se implementó un testeador que consiste en generar NEstrellas en un espacio de dos dimensiones (ejes x, z) y realizar los sorteos en el tiempo (pasosT en el eje y).

Cada color indica un nuevo paso de tiempo.

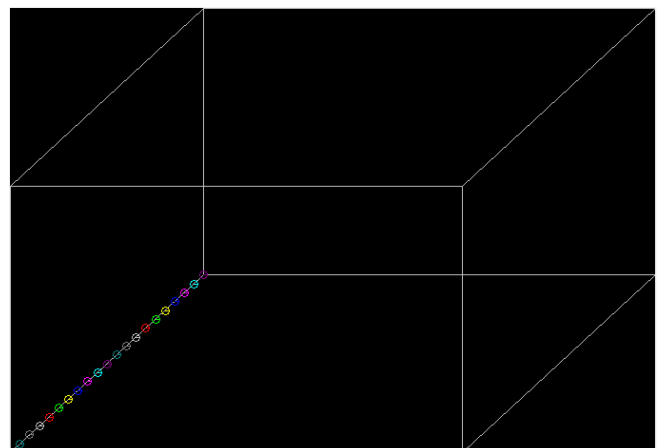


Fig. 1: 1 Trayectoria, 20 pasosT iniciando con Semilla = 0.

Prueba 1: La semilla = 0 lleva a que los números generados sean siempre 0. Al inicializar con semilla = $k\text{Trayectoria} * 31$, como $k\text{Trayectoria}$ va de 0 a NTrayectorias -1 había una trayectoria que generaba la serie de números 0.

La Fig.2 muestra el resultado de inicializar el GNP con semilla = 0 y solicitar 20 pares de números (x, z) para cada paso de tiempo. Como se pueden apreciar están todos los puntos sobre el eje $x = 0, z = 0$.

Prueba 2: 100 trayectorias inicializando cada una con semilla = $31 * k_{\text{Trayectoria}}$ y solicitando 20 pasos de tiempo. En la Fig.2 muestra el resultado. Recordar que cada color identifica un paso de tiempo. Como se puede apreciar, hay algunos pasos de tiempo (el Amarillo en particular) en que los puntos parecen estar alineados. Esto implica que para ese paso de tiempo, aunque las semillas iniciales son diferentes para cada trayectoria, existe una correlación importante entre los puntos del espacio de estado así generados. Como los algoritmos para generación de números aleatorios suelen utilizar divisiones enteras con truncamiento para generar las series, podría ser que no sea una buena inicialización seleccionar semillas que sean un múltiplo progresivo de una dada como es el caso de $31 * k_{\text{Trayectoria}}$.

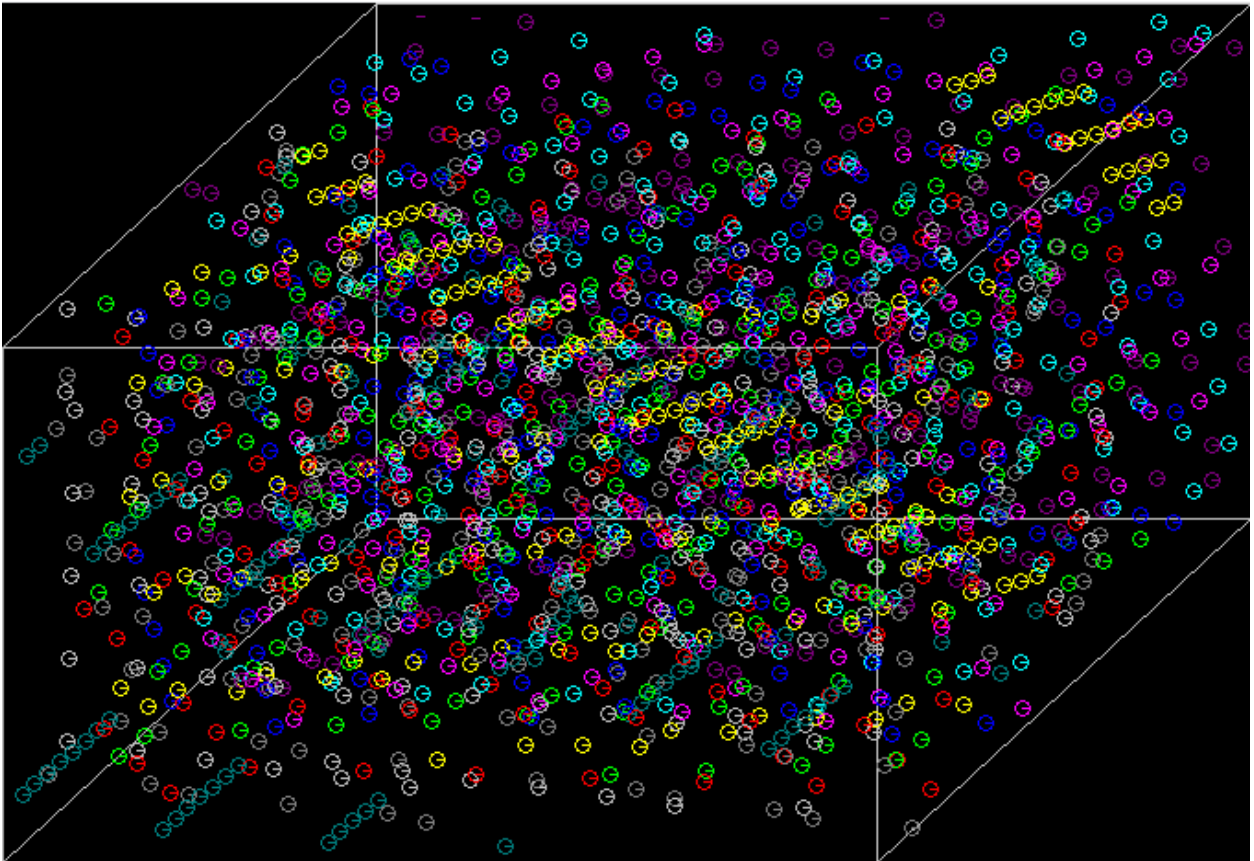


Fig. 2: 100 Trayectorias 20 Pasos T ; semilla = $k_{\text{Trayectoria}} * 31$

Prueba 3: 100 Trayectorias iniciando cada una con Semilla = $100031 + k_{\text{Trayectoria}}$. La Fig.3 muestra el resultado y como se puede apreciar tampoco es satisfactorio. Ante la duda de si el problema es que se utilizaba el procedimiento "reiniciar" de TMadreUniforme, para cada trayectoria, sobre la misma fuente creada al inicio del test se realizó el test nuevamente creando y destruyendo la instancia de TMadreUniforme para cada trayectoria generando exactamente los mismos valores.

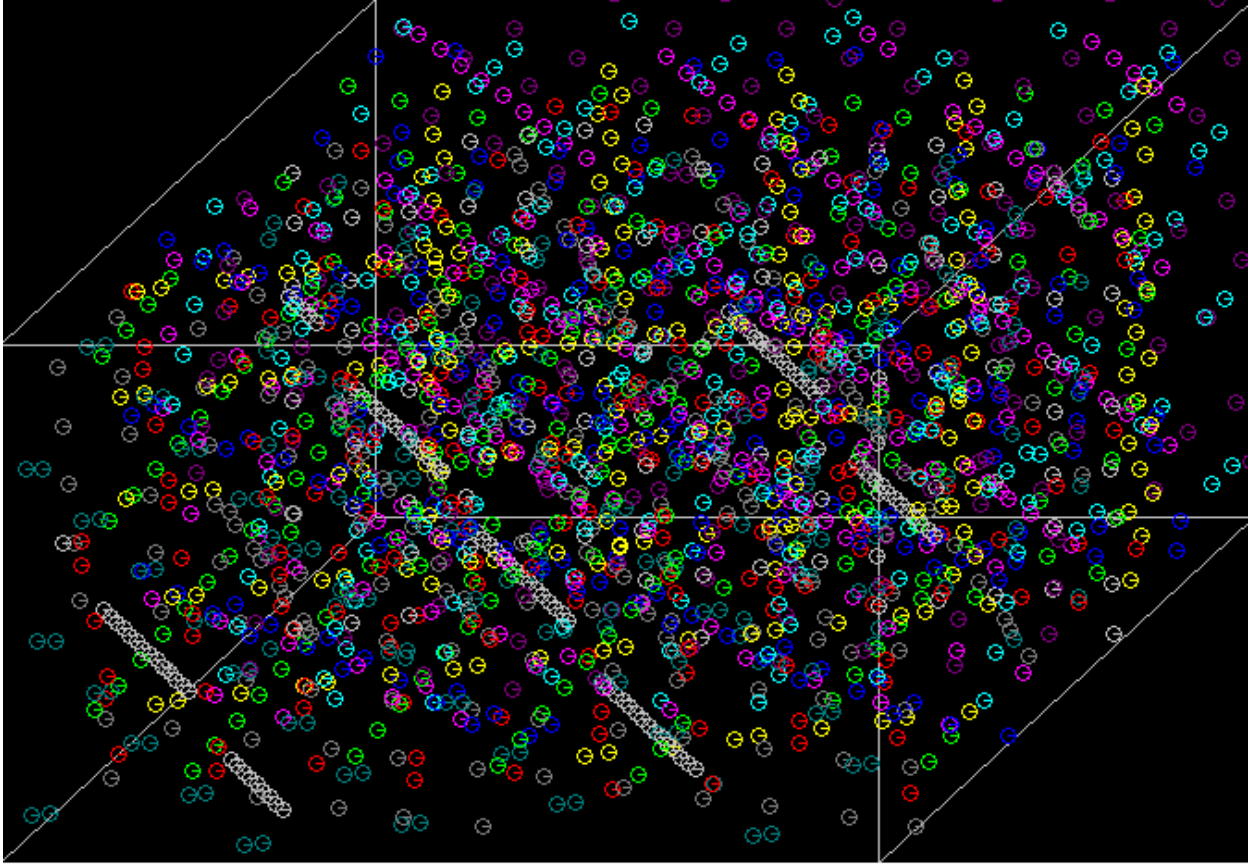


Fig. 3: 100 Trayectorias, 20 PasosT, semilla = $100031 + k\text{Trayectoria}$

Prueba 4: Se cambia el algoritmo a "Mersenne Twister" y se simulan 100 Trayectorias, 20 PasosT, semilla = $100031 + k\text{Trayectoria}$. En la Fig.4 se ve el resultado y como se puede apreciar no se visualizan correlaciones a simple vista.

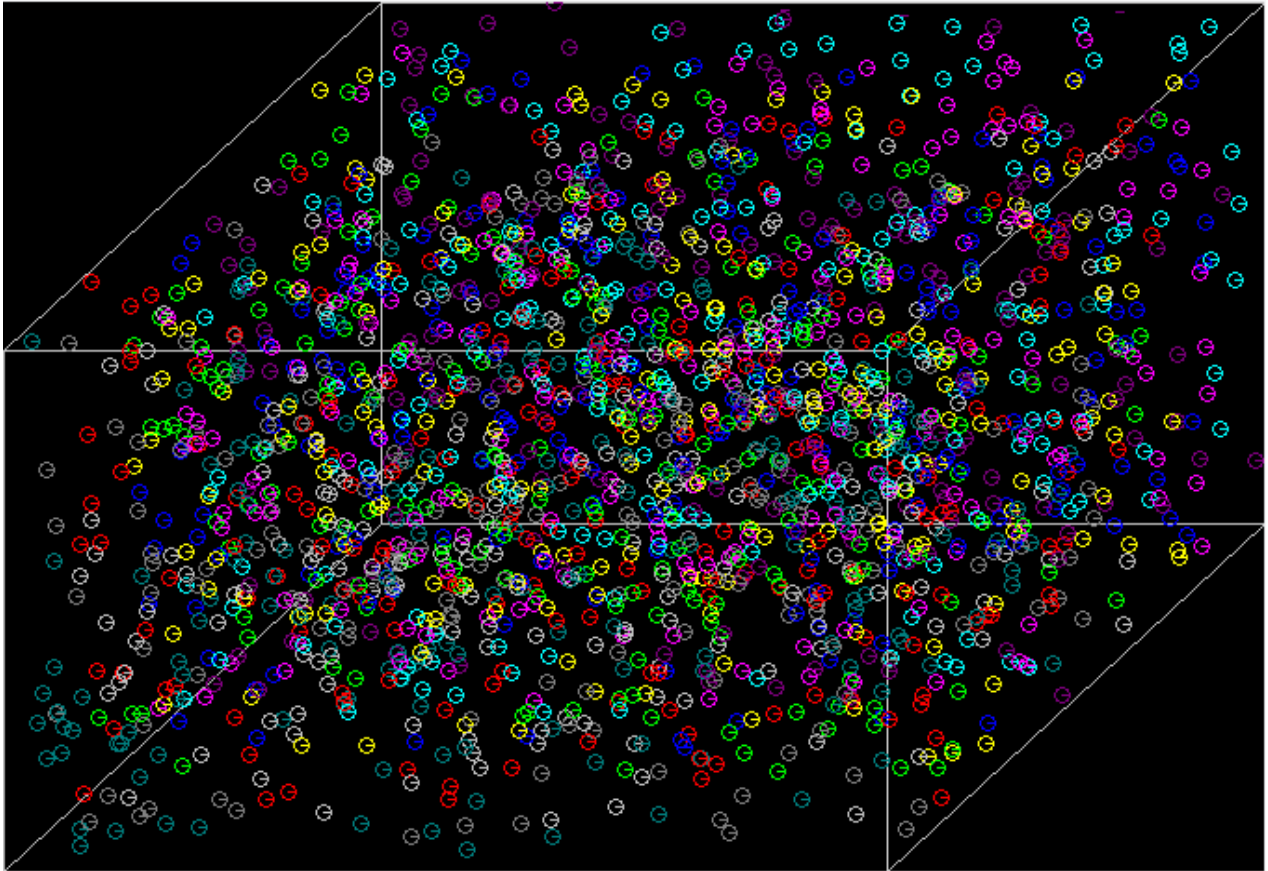


Fig. 4: Random de Pascal. 100 Trayectorias, 20 PasosT, semilla = $100031+k$ Trayectoria.

Constatado lo anterior, se implementa la clase TPseudorandomGenerator en la que se encapsula la implementación de "Mersenne Twister: A 623-Dimensionally Equidistributed Uniform Pseudo-Random Number Generator" para poder utilizarla en ambiente multi-proceso. Este generador es el usado en Pascal y repetido el test de la Fig.4 con la implementación realizada dio exactamente lo mismo.

3. Estimación del error de estimación del valor esperado de la generación hidráulica

Ruben Chaer.

12 de octubre de 2020
Montevideo - Uruguay

3.1. Resumen ejecutivo.

En la versión viie43_207 de SimSEE se cambió el generador de números pseudoaleatorios. Eso lleva a que al repetir una simulación con la nueva versión, las crónicas simuladas no correspondan con las simuladas en versiones anteriores (no se reproduce "la misma suerte", cambias las lluvias, roturas de máquinas, etc.). Este documento establece una estimación del error de estimación del valor esperado de una variable aleatoria (se utiliza como ejemplo la generación hidráulica anual) para permitir entonces entender los cambios observados en las estimaciones.

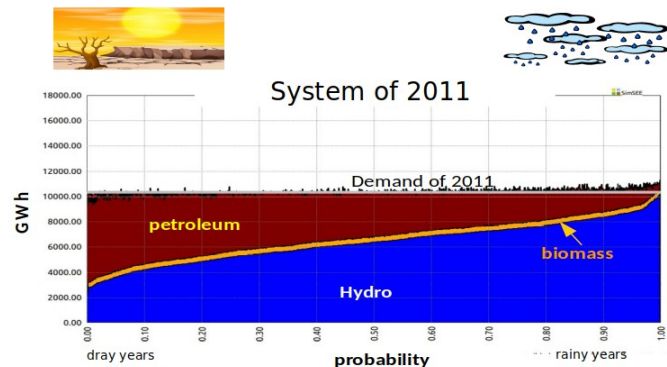


Fig. 5: Generación hidráulica anual.

El gráfico de la Fig.5 muestra que la generación hidráulica anual puede variar entre 2500 GWh y 1000 GWh siendo entonces el rango de variación de 7500 GWh. Con motivo del cambio del generador de números aleatorios, se observó (para una semilla dada de inicialización y 1000 crónicas de simulación) una variación de 150 GWh en la estimación de la generación hidráulica anual, lo que en principio llamó la atención y ameritó realizar este informe.

La variación de 150 GWh en 7500 GWh representa un 2% del rango de variación.

Para 1000 crónicas de simulación, (considerando que el valor esperado se verifica cercano al 50% del rango de la variable) el error con confianza 95% de no ser excedido es $3.16\% = 237 \text{ GWh}$ (ver Fig.6). Esto muestra que las variaciones observadas están dentro de la precisión de la estimación.

En particular, se observó que utilizando la semilla 10031, con la nueva versión de SimSEE, se obtiene un resultado similar al de utilizar la semilla 31 con la versión anterior de SimSEE para la generación hidráulica. Por esta razón se decide inicializar las salas de la Programación Estacional con la semilla 10031 (en lugar de 31), esto se realiza solo para mantener una coherencia en los los valores, pero con plena conciencia de que el error de estimación de los mismo supera esas diferencias.

3.2. Determinación de la cantidad de simulaciones.

3.2.1) Introducción a los estimadores de valor esperado y varianza.

Las simulaciones con la herramienta SimSEE son del tipo de Monte Carlo con lo cual, de las variables observadas se tienen tantas muestras como simulaciones se realice y en general se trata de estimar el valor esperado de una variable.

Como cada simulación se realiza en forma independiente, los valores obtenidos (o muestras de la variable observada) se pueden considerar independientes.

La forma clásica de estimar la cantidad de muestras para lograr un determinado nivel de precisión (esto es acotar el error a estar por debajo de un valor dado con una confianza dada) es la que se muestra por ejemplo en la sección 11.7 del libro "Introduction to Probability Models" (10th Edition - Sheldon M. Ross).

El procedimiento consiste en calcular la estimación del valor esperado y de la varianza como se muestra en las ec.1 y 2.

$$\bar{u} = E(u) \simeq \frac{1}{N} \sum_k u_k = p \quad \text{ec.(1)}$$

$$\sigma_u^2 = \text{Var}(u_k) \simeq \frac{1}{N-1} \sum_k (u_k - p)^2 \quad \text{ec.(2)}$$

Por la "Ley de los grandes números" el error $\varepsilon = p - \bar{u}$ del estimador de la ec.1 tiende a tener una distribución gaussiana (técnicamente, cuando se utiliza la estimación de la varianza dada por la ec.2 tiene una distribución de t-Student con N-1 grados de libertad, distribución que tiende a la gaussiana al crecer N y que en la práctica se considera gaussiana para N > 30; ver el libro de texto antes mencionado).

$$\sigma_\varepsilon^2 = \sigma_p^2 = \frac{1}{N} \sigma_u^2 \quad \text{ec.(3)}$$

Dada la distribución del error de la estimación del valor esperado, para mantener dicho error con confianza 95% (elegimos este valor como ejemplo por ser comúnmente usado en la valorización de riesgos) inferior a un valor θ se tendrá que aumentar N lo suficiente como para que se cumpla $1.96 \sigma_p \leq \theta$ que puede expresarse usando la ec.3 como muestra ec.4.

$$N \geq \left(\frac{1.96}{\varepsilon} \right)^2 \sigma_u^2 \quad \text{ec.(4)}$$

El valor 1.96 se obtiene de la distribución normal N(0, 1). La probabilidad acumulada entre -1.96 y 1.96 es de 95%.

En la práctica, se realizan un número $K > 30$ de simulaciones, se calcula la estimación de la varianza σ_u con la ecs.2 y se utiliza la ec.4 para determinar el valor N mínimo de simulaciones a realizar. Si $N > K$ se realizan las $N - K$ simulaciones restantes para lograr la precisión deseada.

Como la cantidad de simulaciones es en la práctica superior a 30 las distribuciones se pueden suponer gaussianas y es aplicable lo que se desarrolla en la sección 3.2.2

3.2.2) Estimación de una cota inferior de la cantidad de simulaciones para lograr con una confianza dada, que el error en la determinación del valor esperado de una variable sea inferior a un valor dado.

(esta sección es copia del trabajo: DOI: 10.13140/RG.2.2.30553.75369



se incluye aquí solo para facilitar al lector la disponibilidad del mismo)

Proyecto SimMEEP – Dpto. Potencia - IIE-FING-UDELAR
Ing. Ruben Chaer.
Marzo 1992.

Este trabajo resume resultados de estadística básica y muestra como calcular la cantidad de simulaciones mínimas a realizar para que la estimación del valor esperado de una variable se pueda realizar manteniendo el error acotado con un nivel de confianza dado.

Sin pérdida de generalidad, se supone que la variable está expresada en por unidad de su rango de variación y que el error se expresa también en por unidad de dicho rango.

Dado un conjunto de valores de una variable $u_k \in [0,1]$ obtenido mediante simulaciones, se trata de calcular el número mínimo de simulaciones para estimar el valor esperado de la variable con una error inferior a un umbral dado con un nivel de confianza dado.

Los clásicos estimadores insesgados del valor esperado y de la varianza de la variable u se muestran en la ecs. 5 y 6.

$$\bar{u} = E(u) \approx \frac{1}{N} \sum_k u_k = p \quad \text{ec.(5)}$$

$$\sigma_u^2 = \text{Var}(u_k) \approx \frac{1}{N-1} \sum_k (u_k - p)^2 \quad \text{ec.(6)}$$

Observar dado que p es el promedio de $u_k \in [0,1]$, se cumple que $p \in [0,1]$ y que la varianza de u puede acotarse por la expresión de la ec.7.

$$\sigma_u^2 \leq \bar{u}(1-\bar{u}) \quad \text{ec.(7)}$$

La demostración de la ec.7 es sencilla considerando que $\sigma_u^2 = E(u^2) - \bar{u}^2$ y que al ser $0 \leq u \leq 1$ se cumple $0 \leq u^2 \leq u$ y por tanto $E(u^2) \leq E(u) = \bar{u}$ por lo que $\sigma_u^2 \leq \bar{u} - \bar{u}^2$.

La cota de la varianza de la ec.7 al variar $\bar{u} \in [0,1]$ tiene el máximo $\sigma_u^2 \leq 0.5(1-0.5) = 0.5^2$ con lo cual podemos considerar que 0.5 es una cota superior del desvío estándar de la variable u .

Si estamos estimando el valor esperado de u por la expresión de la ec.9 donde los valores de u corresponden a simulaciones independientes, la varianza del estimador de la ec.9 estará dada por le expresión de la ec.8.

$$\sigma_p^2 = \frac{1}{N} \sigma_u^2 \quad \text{ec.(8)}$$

En la medida en que N crece, por la Ley de los Grandes Números, el estimador p tiende a tener distribución gaussiana.

Si se quiere estimar \bar{u} con un error inferior a ε con una confianza de 95%, suponiendo que la distribución del error es gaussiana con varianza σ_p^2 se debe cumplir



que $1.9599639845 \sigma_p < \varepsilon$ siendo -1.9599639845 el valor para el cual el área de la distribución normal vale 2.5/100.

Se tiene entonces que se deberá seleccionar N lo suficientemente grande como para que se cumpla: $\sigma_p^2 = \frac{1}{N} \sigma_u^2 < \left(\frac{\varepsilon}{1.9599639845}\right)^2$ lo que es equivalente a:

$$N > \sigma_u^2 \left(\frac{1.9599639845}{\varepsilon}\right)^2$$

Siendo p la estimación de \bar{u} y $p(1-p)$ una estimación de una cota máxima de σ_u con lo cual el número mínimo de corridas para lograr un error dado con confianza 95% puede acotarse por la expresión de la ec.9.

$$N > p(1-p) \left(\frac{1.9599639845}{\varepsilon}\right)^2 \tag{ec.9}$$

La tabla 1 muestra los valores de la ec.9 para diferentes valores de p (columnas) y diferentes valores de ε (filas).

Si apriori se desconoce el valor de σ_u se debe considerar el valor máximo 0.5 que corresponde a la columna en negrita de la tabla 1.

Tabla 1: Cantidad de simulaciones mínimas para un error dado con confianza 95%.

p (1-p)	0,09	0,16	0,21	0,24	0,25	0,24	0,21	0,16	0,09
E(u) = p	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
10,00%	35	61	81	92	96	92	81	61	35
5,00%	138	246	323	369	384	369	323	246	138
3,00%	384	683	896	1.024	1.067	1.024	896	683	384
2,00%	864	1.537	2.017	2.305	2.401	2.305	2.017	1.537	864
1,00%	3.457	6.146	8.067	9.220	9.604	9.220	8.067	6.146	3.457
0,50%	13.829	24.585	32.268	36.878	38.415	36.878	32.268	24.585	13.829
0,30%	38.415	68.293	89.634	102.439	106.707	102.439	89.634	68.293	38.415
0,20%	86.433	153.658	201.677	230.488	240.091	230.488	201.677	153.658	86.433
0,10%	345.731	614.633	806.706	921.950	960.365	921.950	806.706	614.633	345.731

La Fig.6 muestra la misma información que la tabla 1 para un rango de errores de 1 a 10% y para las columnas correspondientes a un valor esperado (en por unidad del rango de la variable) entre 0.1 y 0.5.

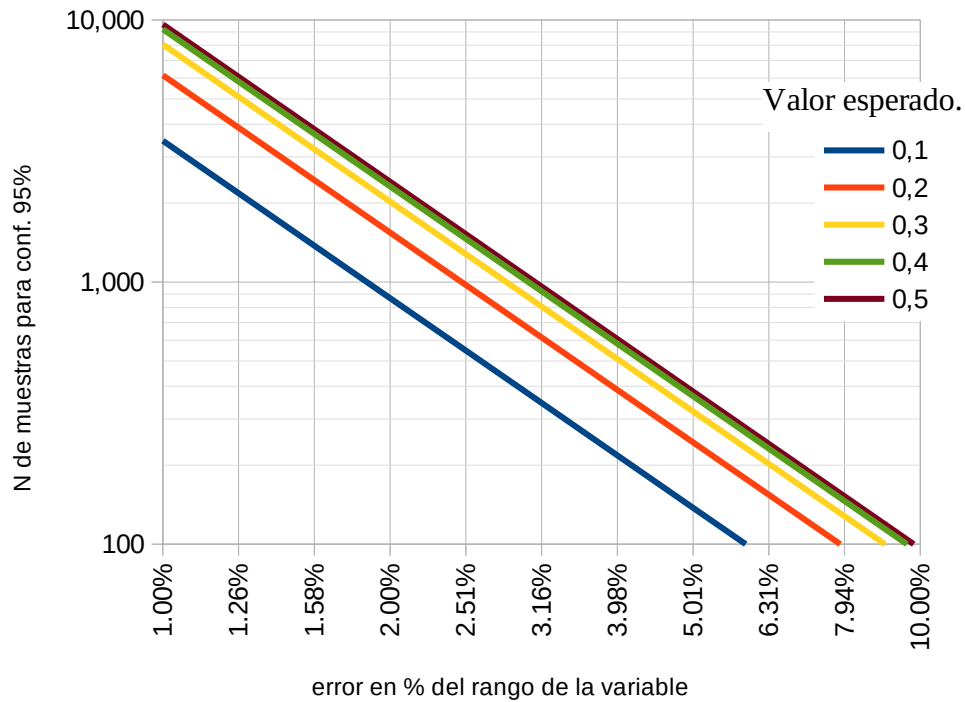


Fig. 6: Número de muestras mínimas para no superar un error con confianza 95%.

Ejemplo 1. A modo de ejemplo de aplicación, para estimar el valor esperado de una variable en por unidad de su rango de variación con un error inferior a 10% con confianza 95% de no superar ese error, se deberán ejecutar por lo menos 100 simulaciones. Si se dispone de información que permite saber que el valor esperado está en un rango dado, se puede usar la curva que corresponda en lugar de usar la correspondiente a un valor esperado de 0.5.

Ejemplo 2. Suponga que se desea calcular el valor esperado correspondientes al 5% de mayor de una variable observada mediante simulaciones, con un error que con confianza 95% no supere el 2%. La cantidad de simulaciones a realizar será la necesaria para que el 5% de ellas (cantidad de muestras a promediar) sea por lo menos 2401 según la tabla 1 lo que implica que se deben ejecutar 48020 simulaciones.



4. Resultados de la corrida estacional para distintos precios de exportación Argentina

Gerencia Técnica y Despacho Nacional de Cargas
Pablo Soubes
Montevideo, 22 de Setiembre de 2020

En el presente informe se muestran los resultados obtenidos al optimizar y simular la sala correspondiente a la Reprogramación Estacional Mayo - Octubre 2020 para varios escenarios de precios de exportación hacia Argentina, en el período correspondiente a la PES Noviembre 20 - Abril 21. La sala utilizada es la de paso semanal y la versión SimSEE es la 43.207.

Para realizar el estudio se definen 6 escenarios de precio de exportación a ser utilizados como precio spot de mercado en el actor de comercio internacional que modela el intercambio de energía con Argentina. Los precios definidos se muestran en la Tabla Tabla 2:

0	1	6	9	12	20
---	---	---	---	----	----

Tabla 2: Precios de exportación del modelo en USD/MWh.

El actor exportación Argentina es del tipo "Spot de Mercado" con una potencia máxima de 800 MW y una disponibilidad de 0.7. Los resultados obtenidos corresponden al período desde el 2/11/2020 hasta el 02/05/2021.

Se realizan dos casos de estudio, en el Caso 1 se optimiza y simula el modelo con los escenarios de precio definidos en la Tabla Tabla 2. En el Caso 2 se optimiza el modelo con los mismos escenarios de precio, pero se simula con un precio fijo de 20 USD/MWh en todos los escenarios.

En la Tabla Tabla 3 se muestra un resumen de los resultados obtenidos. Las variables presentadas son la energía exportada hacia Argentina, los excedentes no embalsables, la suma de la energía exportada y los excedentes, el CAD y el CAD corregido según un precio fijo de exportación hacia Argentina de 20 USD/MWh.

CASO 1: OPTIMIZACIÓN Y SIMULACIÓN EN ESCENARIOS DE PRECIO ARGENTINA											
Precio exportación del actor INTERCAMBIO (USD/MWh)	Energía exportada hacia ARG (GWh)	Excedentes (GWh)	Excedentes + ARG (GWh)	CAD (MUSD)	CAD corregido con ingreso ARG al precio fijo 20 USD/MWh (MUSD)		Precio exportación del actor INTERCAMBIO (USD/MWh)	CMG promedio (USD/MWh)	Precio Medio Valle (USD/MWh)	Precio Medio Llano (USD/MWh)	Precio Medio Pico (USD/MWh)
0	0.0	373.5	373.5	331.8	331.8		0	47.5	39.1	52.1	51.3
1	264.3	119.5	383.8	331.6	326.5		1	47.7	39.4	52.3	51.5
6	296.0	116.4	412.4	330.1	326.0		6	49.2	41.1	53.6	52.8
12	320.7	114.7	435.4	328.2	325.7		12	51.0	43.2	55.3	54.5
20	347.3	113.4	460.7	325.5	325.5		20	53.6	46.1	57.7	57.0
CASO 2: OPTIMIZACIÓN EN ESCENARIOS DE PRECIO ARGENTINA Y SIMULACIÓN A PRECIO FIJO DE 20 USD/MWh											
Precio exportación del actor INTERCAMBIO (USD/MWh)	Energía exportada hacia ARG (GWh)	Excedentes (GWh)	Excedentes + ARG (GWh)	CAD (MUSD)	CAD corregido con ingreso ARG al precio fijo 20 USD/MWh (MUSD)		Precio exportación del actor INTERCAMBIO (USD/MWh)	CMG promedio (USD/MWh)	Precio Medio Valle (USD/MWh)	Precio Medio Llano (USD/MWh)	Precio Medio Pico (USD/MWh)
0	371.0	113.2	484.2	325.7	325.7		0	53.4	46.0	57.5	56.8
1	370.4	112.6	483.0	325.7	325.7		1	53.5	46.0	57.5	56.8
6	366.6	112.4	479.0	325.6	325.6		6	53.4	46.0	57.5	56.8
12	359.8	112.8	472.6	325.5	325.5		12	53.5	46.0	57.5	56.8
20	347.3	113.4	460.7	325.5	325.5		20	53.6	46.1	57.7	57.0

Tabla 3: Energía exportada, excedentes, CAD's, CMG y Precios vistos para el Caso 1 y el Caso 2.

Precio exportación del actor INTERCAMBIO: Es el valor del precio spot de mercado del actor que modela el comercio internacional con Argentina. La variable toma los valores especificados en la Tabla 2 en cada escenario realizado. La exportación se produce cuando el CMG de Uruguay es menor que dicho precio.

Energía exportada hacia ARG: Es el valor esperado de la energía acumulada que se exporta hacia Argentina.

Excedentes: Es el valor esperado del acumulado de la exportación de excedentes no embalsables.

CAD: Es el valor esperado del costo de abastecimiento de la demanda.



CAD corregido con ingreso ARG al precio FIJO 20 USD/MWh: Es el CAD corregido para considerar los ingresos por exportaciones hacia Argentina valorizados al precio FIJO 20 USD/MWh, en lugar de ser valorizados al Precio exportación del actor INTERCAMBIO.

CMG: Es el valor esperado promedio del costo marginal en el período de simulación.

Los Precios Medios por Tramo Horario (PMTH) son los precios vistos por la demanda del sistema en diferentes grupos de horas de la semana. Los PMTH se calculan como el cociente entre el costo acumulado y la energía acumulada en las horas del tramo horario correspondiente. Los tramos horarios son llano, valle y pico.

El costo se calcula como la suma producto entre la potencia demandada y el CMG del sistema en el tramo horario de interés (operación SumaDobleProductoConDurposTopeado). Luego se acumulan los valores en todo el período de simulación para obtener el costo acumulado.

La energía demandada se calcula como la suma producto entre la potencia demandada y la duración de los postes de tiempo asociados a las horas del tramo horario correspondiente (operación sumaProductoConDurpos). Luego se acumulan los valores en todo el período de simulación para obtener la energía acumulada.

Una vez obtenidos los valores de costos y energías acumuladas se calculan los PMTH para cada tramo horario como los cocientes de dichas magnitudes.

Precio Medio Valle: Es el valor esperado del PMTH en las horas del Valle.

Precio Medio Llano: Es el valor esperado del PMTH en las horas del Llano.

Precio Medio Pico: Es el valor esperado del PMTH en las horas del Pico.

En la Figura 7 se muestra gráficamente la energía exportada más los excedentes junto con los CAD's para cada escenario de precio y caso de estudio.

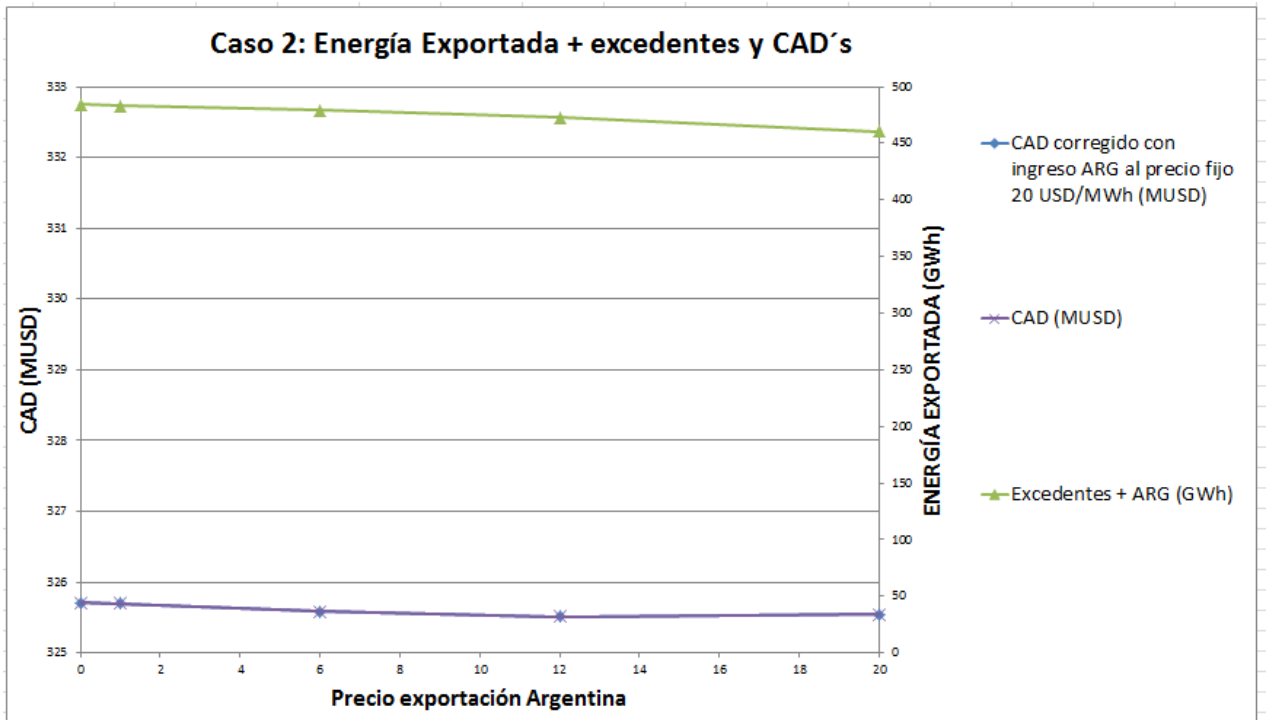
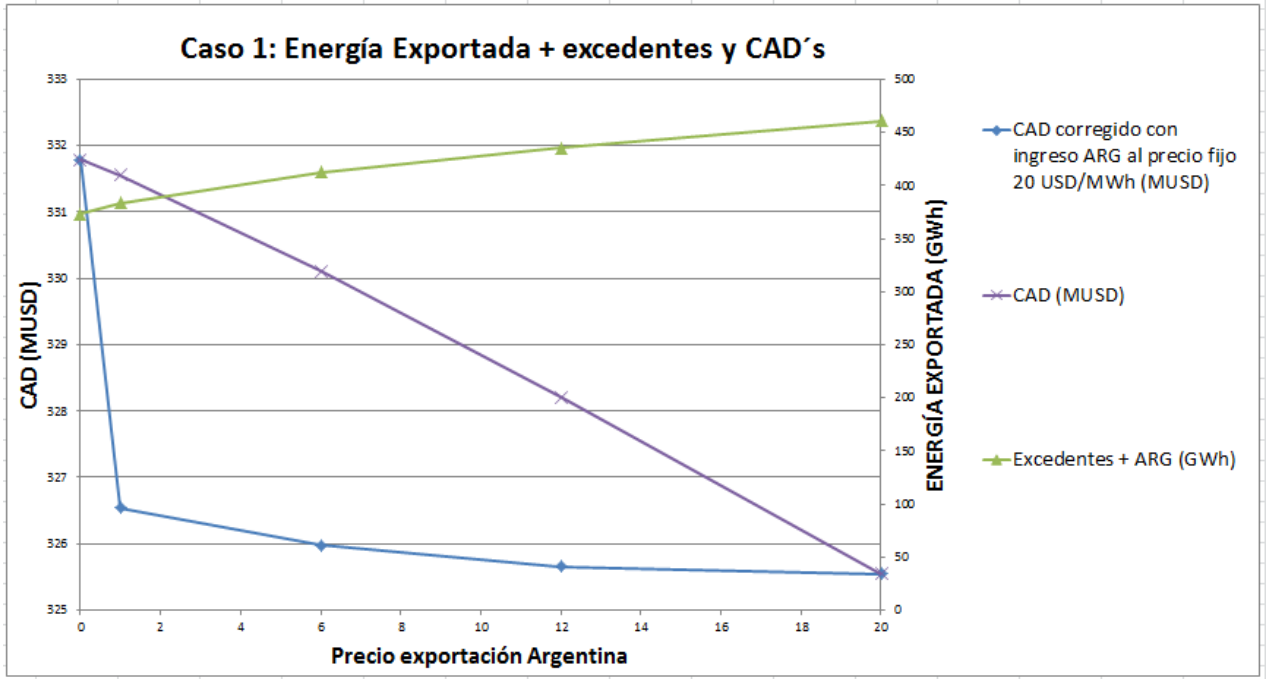
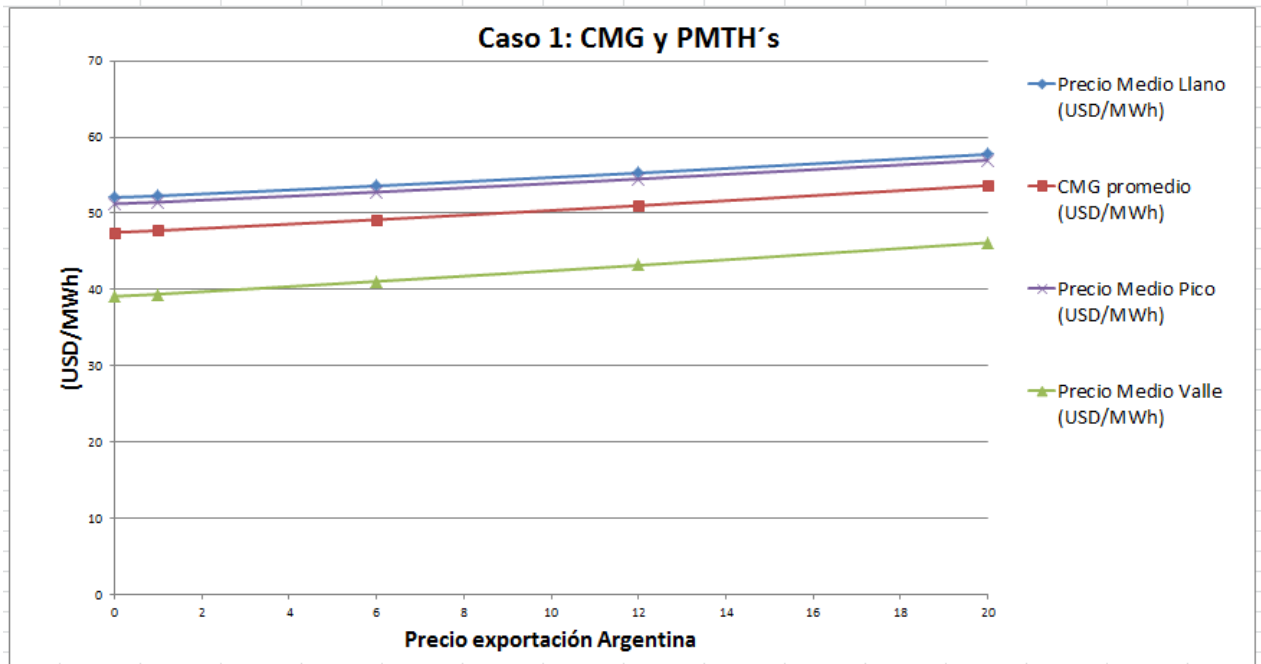


Fig. 7: Energía exportada + excedentes y CAD's para cada escenario y caso de estudio

En la figura 8 se muestra gráficamente el CMG y los PMTH para cada escenario y caso de estudio.



En la Tabla Tabla 4 se muestra, para el Caso 2, la diferencia entre el CAD correspondiente a cada escenario de precio con respecto al CAD del escenario de precio de exportación a 20 USD/MWh. Esto muestra como cambia el CAD obtenido por simulación a un precio fijo según se haya optimizado el modelo a un precio variable, con respecto a optimizar y simular el modelo con un precio de exportación de 20 USD/MWh.

Escenarios de precio (USD/MWh)	CAD - CAD_20 (USD)
0	167177
1	153504
6	37049
12	-31156
20	0

Tabla 4: CAD – CAD_20 por escenario para el Caso 2.

En la Figura 9 se muestra gráficamente los resultados de la Tabla 4.

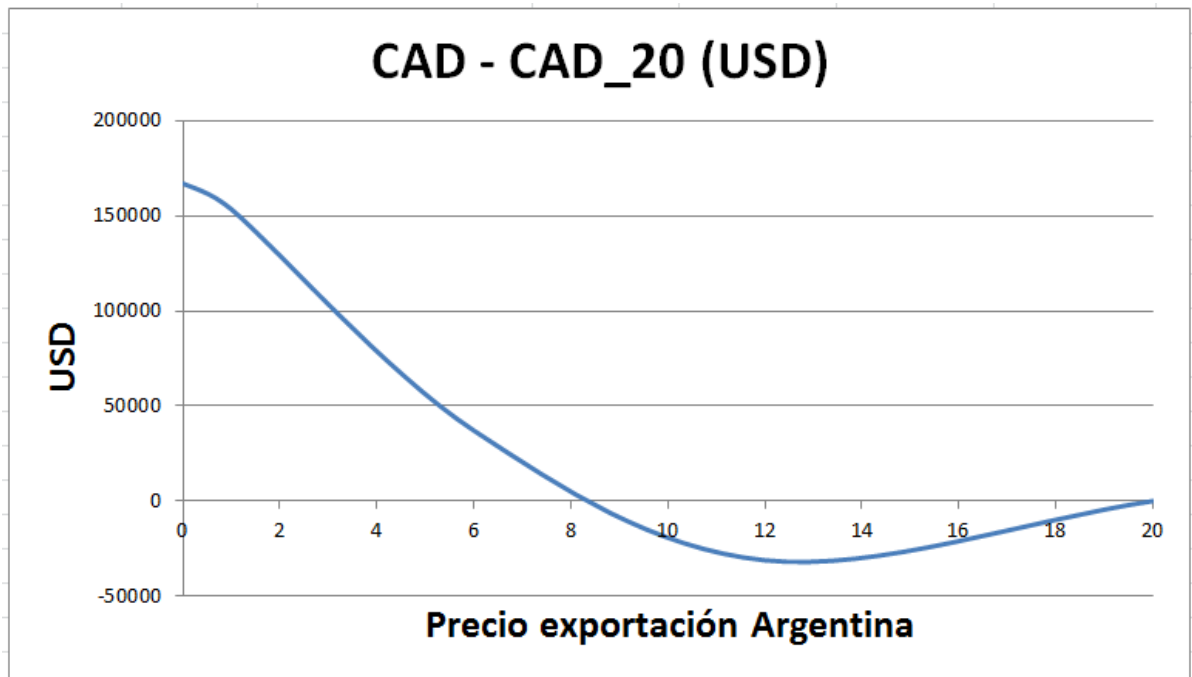


Fig. 9: Diferencia entre el CAD y el CAD_20 para cada escenario en el Caso 2.



A partir de los resultados de las Tablas 3 y 4 se puede concluir que no existen grandes diferencias entre considerar precios de exportación en el rango de 0 USD/MWh a 20 USD/MWh para la optimización si luego se realiza la simulación con un precio de exportación fijo de 20 USD/MWh. Estos resultados corresponden a el modelo utilizado para el actor de comercio internacional con Argentina, el cual tiene 800 MW de potencia de intercambio con probabilidad 70%.

Con respecto a la alteración del Costo Marginal y de los Precios vistos por tramo horario se puede concluir que no hay diferencias apreciables por realizar la optimización en el rango de los escenarios de precios, y en particular por optimizar con 0 USD/MWh o con 12 USD/MWh.

A partir de la Figura 9 se observa que parecería haber un óptimo cercano a los 12 USD/MWh por lo cuál se decide mantener el modelado actual.

5. Estimación de los Costos Variables de Importación en función de los Costos Marginales de la región Sur de Brasil

Gerencia Técnica y Despacho Nacional de Cargas
Felipe Palacio
Montevideo, 22 de Setiembre de 2020

Para modelar los costos ocasionados por la introducción de la energía en el mercado brasileño como ser peajes, tasas y ganancias de comercializadores se calcula una recta que estima el Costo Variable de Importación (CVI) en función del Costo Marginal de la region sur de Brasil (CMO_Br). Los coeficientes de la recta se calculan ajustando por mínimos cuadrados los precios ofrecidos por los comercializadores de energía en el mercado Brasileiro en función de los costos de extracción calculados por ADME para cada oferta. En la Tabla 5 se muestran las ofertas realizadas por UTE a las comercializadoras Brasileiras (Eletrobras y Enel) y las ofertas realizadas por estas en el mercado Brasileiro en las semanas energéticas 35 a 38 del año 2020.

Semana energética	Oferta UTE -> Enel + Eletrobras		Oferta Enel + Eletrobras -> Mercado Brasileiro		CVI [USD/MWh]
	Potencia [USD/MWh]	Precio [USD/MWh]	Potencia [USD/MWh]	Precio [USD/MWh]	
38/2020	70.0	24.8		32.7	23.5
	120.0	38.7		49.7	36.7
	380.0	110.0		135.3	104.4
37/2020	70.0	29.7		38.3	28.1
	120.0	47.9		60.3	45.4
	380.0	110.0		134.2	104.4
36/2020	70.0	25.6		33.7	24.2
	120.0	38.3		49.6	36.3
	380.0	110.0		136.6	104.4
35/2020	70.0	24.7		32.4	23.4
	120.0	41.7		53.2	39.5
	380.0	110.0		135.2	104.4

Tabla 5: Ofertas de Exportación y CVI en las semanas energéticas 35 a 38 del año 2020.

Los CVI que se muestran en la Tabla 5 se calculan de acuerdo a la ec. 10 donde se asume que los precios de las ofertas realizadas por UTE son coincidentes con los Precios Mínimos a Recibir calculados por ADME.

$$CVI = \frac{(P_{UTE-Br} \cdot (1 - t_{URSEA}) - t_{ADME})}{(1 + f_{perdidas})}$$

ec.(10) Costo Variable de Importación.

Siendo:

- P_{UTE-Br} : Precios de las ofertas realizadas por UTE comercializador a sus contrapartes brasileiras.

- t_{URSEA} , t_{ADME} : Tasas de URSEA y ADME respectivamente a ser remuneradas por las exportaciones.
- $f_{perdidas}$: Pérdidas en transmisión en p.u.

En la figura 10 se grafica el CVI para cada bloque de las semanas consideradas en función de los precios de las ofertas realizadas por los comercializadores en el mercado eléctrico Brasileiro. En la figura se muestra la ecuación de la recta que ajusta los puntos.

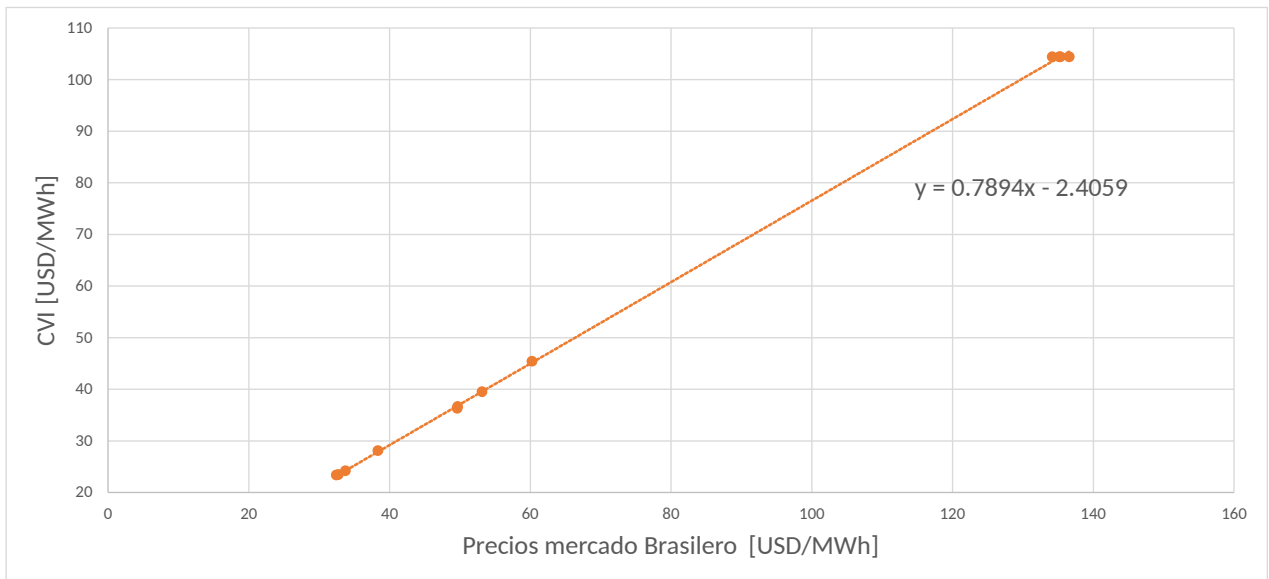


Fig. 10: CVI en función de los precios en el mercado Brasileiro.

En la ec. 11 se expresa la recta de ajuste de manera equivalente a la que se muestra en la Figura 10 a los efectos de facilitar su ingreso en la sala SimSEE. El CVI es maximizado con 0 USD/MWh para evitar valores negativos.

$$CVI = \max(0; (CMO_{Br} - 3.05 \text{ USD/MWh}) / 1.27)$$

ec.(11) Costo Variable de Importación Brasil.

6. Detalles del modelado de la disponibilidad de Gas Natural.

Se modela la disponibilidad de Gas Natural mediante la triplicación de los actores correspondientes a las turbinas de Punta del Tigre (PTI_1-6) y la Central de Ciclo Combinado (Ciclo). En lo que sigue se explicará el detalle del modelado de la disponibilidad de PTI_1-6, siendo análoga la explicación para el modelo del Ciclo.

Se consideran los siguientes actores:

- PTI_1-6_GNGN: Actor que modela la central PTI_1-6 funcionando exclusivamente con Gas Natural. Se ajustan las unidades disponibles de este actor según la disponibilidad de Gas Natural de la época.
- PTI_1-6_GNGO: Actor que modela la central PTI_1-6 funcionando exclusivamente con Gas Oil. Las unidades disponibles de este Actor coinciden con las del PTI_1-6_GNGN.
- PTI_1-6: Actor que modela la central PTI_1-6 funcionando exclusivamente con Gas Oil. En este actor se cargan los mantenimientos PAM de la central y se descuentan las unidades disponibles en los actores anteriores.

En la Figura 11 se muestra el esquema de cálculo de la indexación del costo variable de la central Punta del Tigre con GN (PTI_1-6_GNGN).

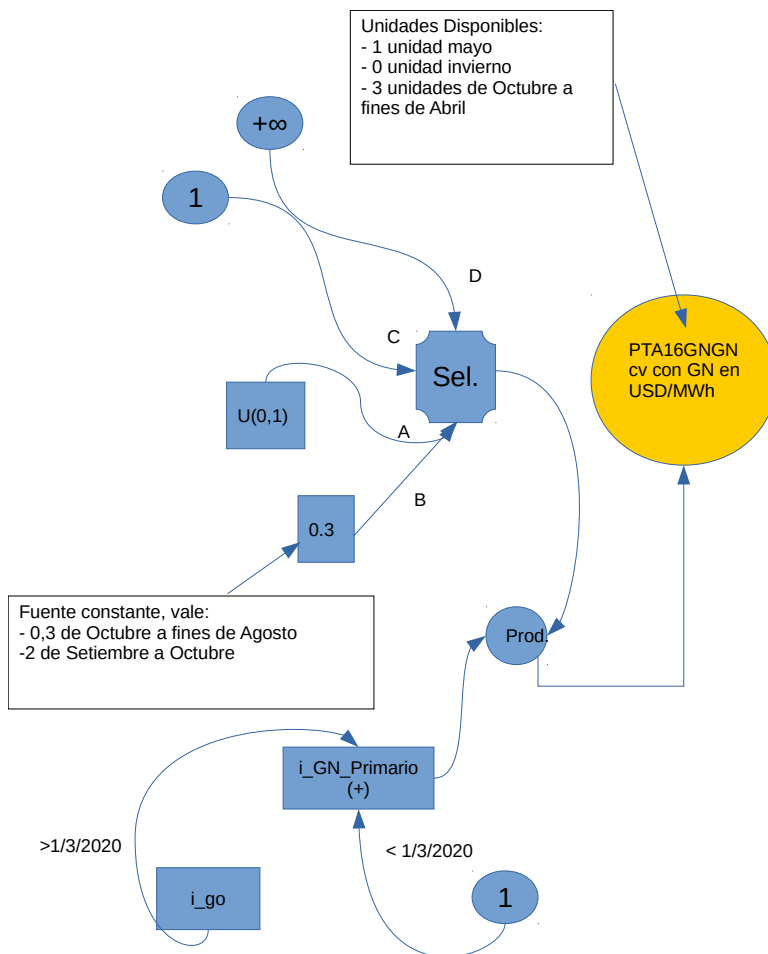


Fig. 11: Fuente índice de precio para PTI_1-6 funcionado a Gas Natural.



El Gas Natural se considera disponible en la sala a partir de Enero del año 2022.

En la Figura 11 el círculo naranja representa al generador (PTA_1-6GNGN), la fuente "Sel" es del tipo Selector y presenta a su salida (para multiplicarla por $I_{GN_Primario}$) el valor de su entrada "C" si $A > B$ o el valor de su entrada "D" en caso contrario. El $I_{GN_Primario}$ indexa al generador alternando su valor entre la indexación del gas oil (i_{go}) y 1 (cuando se tienen contratos de GN).

Las entradas "A" y "B" del Selector son una fuente Uniforme que genera números aleatorios entre 0.0 y 1.0 y una fuente constante de valor 0.3 ("03" en la Sala) respectivamente. La entrada "C" de "Sel" es una fuente constante de valor uno. La entrada "D" de "Sel" es una fuente constante, representando un numero alto, en este caso 1,000,000. La fuente $U(0, 1)$ ("Unif" en la Sala) es una uniforme en $[0, 1]$ para lograr en la comparación con la fuente constante 0.3 que con probabilidad 70% la salida sea "C" (1) y con probabilidad 30% sea "D" (infinito). Si la indexación del generador es infinita, la central no será despachada por su alto costo variable y por tanto estará indisponible para generar con GN. En caso contrario la indexación del generador será 1 o i_{go} y el generador estará disponible para generar con GN. Se considera un paso de sorteo de 168h para la fuente $U(0,1)$, para reflejar que las nominaciones de GN se realizan con frecuencia semanal.

La fuente constante 03 vale 0,3 en los meses de Octubre a fines de Agosto y vale 2 de Setiembre a Octubre de cada año, salvo hasta enero 2022 que vale siempre 2 para reflejar que no se considera el GN antes de esa fecha. En los meses en los cuales la fuente vale 0,3 la salida del selector va a ser "C" todas las veces que la $U(0,1)$ sea mayor a 0,3 o sea un 70 % de las veces y el 30 % restante va a ser "D". Cuando la fuente 03 vale 2, la salida del selector es "D", anulando la disponibilidad de GN.

La indexación del generador PTA_1-6GNGO se construye de manera de reflejar una disponibilidad complementaria a la de PTA_1-6GNGN. Para ello se invierten las entradas "A" y "B" del selector.