

# SIMSEE

## Trabajo final

# Impacto de instalación de una Planta de Biomasa de 20MW.

**Emiliano Roselló**

**Daniel Salomone**

*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*

# SimSEE 2018

## Trabajo Final

### Proyecto de Biomasa. Sustitución de térmicas

#### 1. OBJETIVO

El presente informe busca determinar el beneficio económico para el sistema eléctrico uruguayo de contar con generación a partir de Biomasa. Por tal motivo, se consideró agregar potencia adicional a la existente, con despacho en la base; asumiendo un energético de costo variable nulo.

La incorporación al sistema se realizará mediante dos formatos de generadores. Uno de 20MW y otro de 40 MW pero, en el segundo caso, asumiendo que la energía media semanal está acotada a 20MW medios de potencia. Ambos equipos entrarán en operación dentro de 5 años. Asumir que en el Año 2023 se termine de instalar la Central, con los tiempos que implica la aprobación y puesta en marcha de estas tecnologías, no resulta un dead-line descabellado.

El fin de promover la Biomasa se enfoca en la posibilidad de evitar el uso de aquellas máquinas térmicas que trabajan a gas, gasoil o a fuel oil y aprovechar las bondades de un combustible más limpio, nacional y económico.<sup>1</sup>

En definitiva, la idea fundamental será evaluar a través de SimSEE si las bondades de la Biomasa como combustible son suficientes para compensar las ventajas de las tecnologías térmicas que pueden incorporarse en un futuro como lo son las turbinas a gas o los ciclos combinados.

No obstante, cabe aclarar que las Centrales de Biomasa tienen ciertas limitantes que le han impedido crecer frente a otras variantes renovables como la Eólica y la Solar Fotovoltaica. Sobre todo se destacan su peor rendimiento, la dificultad de manejo y las mayores inversiones. Estos factores se tomarán en cuenta a la hora de realizar la simulación.

#### 2. HIPÓTESIS.

La sala base utilizada para comparar los resultados económicos y de generación eléctrica fue la utilizada durante el curso bajo la denominación Sala\_UY\_2016\_2046. Dicha sala contiene como actores un único nodo (Nodo UY), las cuatro centrales hidráulicas, 3.800 MW de parques eólicos instalados, 329 MW de parques solares instalados y las centrales térmicas existentes (APR, PTI, FO-MOT, CC540 y CTR) incluyendo las plantas de Biomasa (generadores privados y asociaciones público-privadas todas bajo la nomenclatura BIO) y UPM2 (Con 120MW según sala disponible habilitando su capa N°4). El comercio internacional se divide en dos, el comercio con Argentina y el comercio con Brasil.

---

<sup>1</sup> Nota: Cabe aclarar que si bien el despacho del recurso térmico es bajo, su existencia es sumamente necesaria pues, aunque estén apagadas, siempre se puede garantizar el abastecimiento de la demanda (sobre todo en años de sequía)

Se le agregan las expansiones de eólica y solar, además de una turbina aeroderivada de 60 MW a instalarse en el año 2027 y un ciclo combinado de 180 MW a instalarse en el año 2042. Estas expansiones se desinstalaron de la sala para evaluar, en particular, la expansión con Biomasa.

La demanda es generada a partir del archivo binario “aniobase2013” y la energía total anual desde 2008 a 2055.

Se modelan los escalones de falla mediante la utilización de máquinas de falla. Los escalones de falla considerados serán los incluidos en la Sala\_UY\_2016\_2046.

Escalón de falla	Profundidad (%)	Costo de falla(USD/Mwh)
Escalón 1	0,02	167
Escalón 2	0,05	600
Escalón 3	0,075	2.400
Escalón 4	0,855	4.000

La biomasa ocupa un porcentaje menor dentro de la matriz y está asociada a generadores industriales que utilizan vapor en sus procesos.

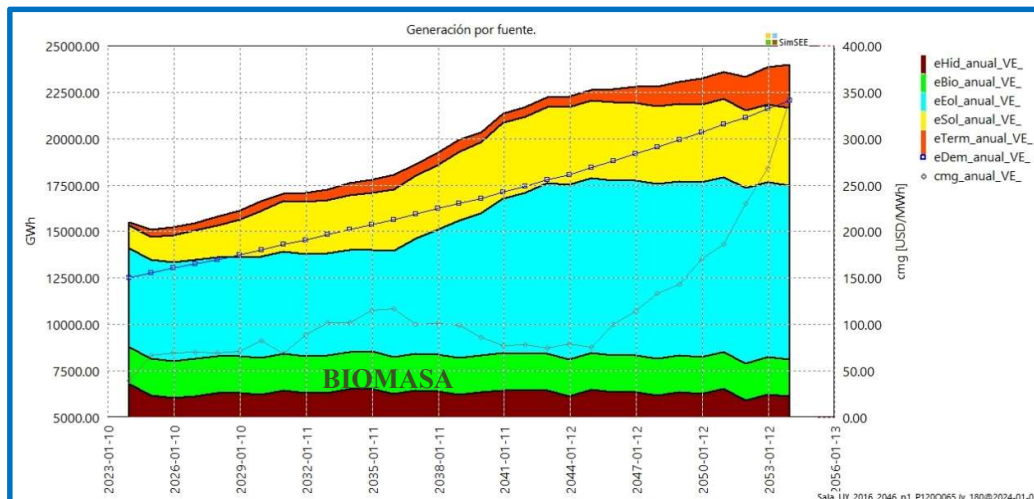


Gráfico de Generación por fuente según la sala Sala\_UY\_2016\_2046 incluyendo la nueva planta de Biomasa despachada en la base.

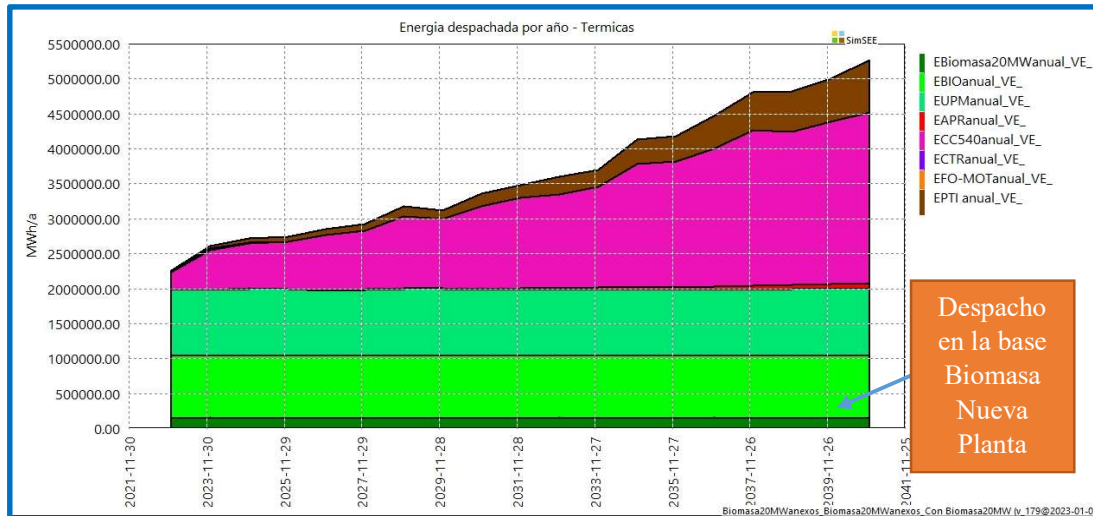
### 3. METODOLOGÍA

El modelado de la central de Biomasa siguió los siguientes criterios:

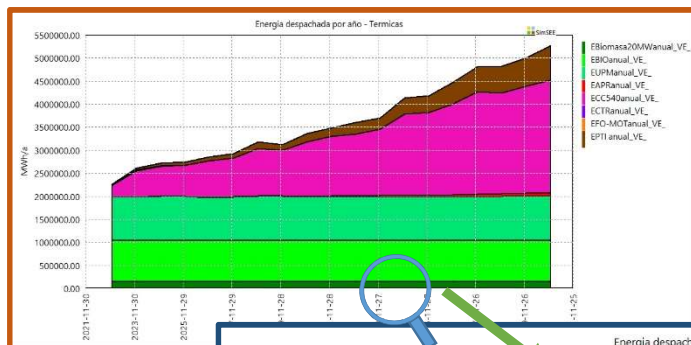
- **Tipo: “Generadores Térmicos Básicos”.** Esta elección responde a las características generales de los proyectos que están siendo evaluados para la expansión de la generación a partir de biomasa del sistema. La potencia estaría disponible desde el inicio del periodo de simulación/optimización.
- **Disponibilidad complexiva (fortuita + mantenimientos programados): 85%**
- **Tiempo medio de reparación (TMR): 360 horas.**

Se simularon 100 crónicas para cada uno de los escenarios trabajando con la semilla aleatoria de optimización N°31.

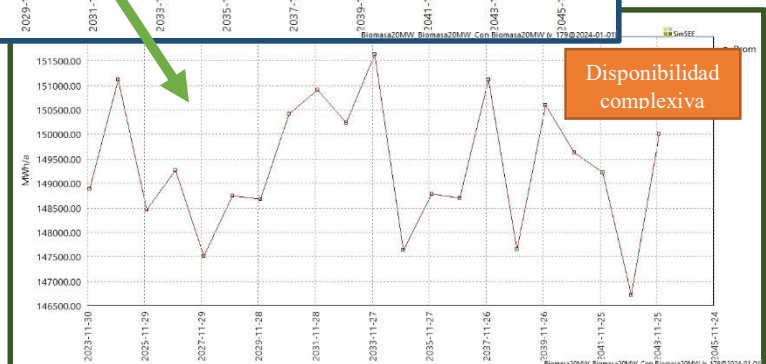
Para dicha suposición, en la sala propuesta, se obtendría el siguiente despacho de energía para las máquinas térmicas instaladas y la nueva Central de Biomasa de 20MW.



Gráficos de Energía Despachada por año para las máquinas térmicas instaladas en la sala Sala\_UY\_2016\_2046 incluyendo la nueva planta de Biomasa despachada en la base.



Gráficos de Energía Despachada por la Central de Biomasa por año



Se optó por una sala de paso semanal ya que, para corridas de largo plazo (20 años en este caso); los pasos de tiempo cortos incrementan enormemente las horas de procesamiento de datos sin que mejoren los resultados para el cálculo solicitado.

El estudio se dividirá en dos partes:

### **PARTE 1 – DETERMINACIÓN DEL GRADIENTE DE INVERSIÓN Y EQUILIBRIO DE INVERSIONES A LARGO PLAZO.**

1. Determinación del Pago por Potencia Disponible a partir de datos bibliográficos sobre inversiones estimadas para las distintas tecnologías.
2. Determinación del gradiente de inversión acumulado utilizando la herramienta SimSEE según la siguiente metodología:

#### ***PARA LA PLANTA DE 20 MW***

- a. 5 situaciones de “Precio por Energía” (de 0 a 20 USD/MWh) SIN expansión eólica-solar sugerida en la Sala\_UY\_2016\_2046. (5 x 100 crónicas)
- b. 1 situación utilizando una Turbina aeroderivada gas de 20MW y otra con Ciclo Combinado (1 x 100 crónicas) desinstalando la planta de Biomasa de 20MW.
- c. Estimación de emisiones ahorradas por el uso de la Biomasa en lugar de Gas.
- d. 5 situaciones de “Precio por Energía” (de 0 a 20 USD/MWh) CON expansión eólica-solar sugerida en la Sala\_UY\_2016\_2046 (5 x 100 crónicas)

#### ***PARA LA PLANTA DE 40 MW***

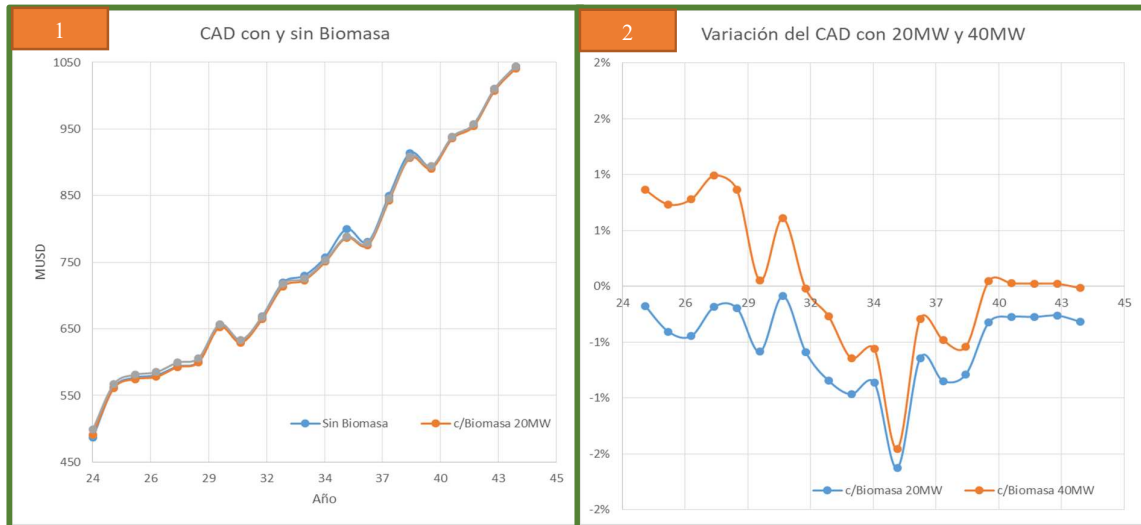
- a. 5 situaciones de Precio por Energía (de 0 a 20 USD/MWh) SIN expansión eólica-solar sugerida en la sala (5 x 100 crónicas)
- b. 5 situaciones de Precio por Energía (de 0 a 20 USD/MWh) CON expansión eólica-solar sugerida en la sala (5 x 100 crónicas)

### **PARTE 2 – CALCULO DE VALOR PRESENTE (VP) A 20 AÑOS**

1. Trabajando con un precio aceptable de “Pago por Energía”, se determina utilizando la herramienta SimSEE para la planta de 20 MW (1 x 100 crónicas) los siguientes parámetros aplicando el factor de actualización correspondiente:
  - a. Ingresos por disponibilidad.
  - b. Ingresos por Energía.
  - c. Ingresos netos.
  - d. Gastos de Operación y Mantenimiento.
  - e. Utilidades netas.
  - f. Valor presente.
2. Se determina los mismos parámetros que para el caso anterior, pero utilizando la herramienta SimSEE para la planta de 40 MW (1 x 100 crónicas)

## COSTO DE ABASTECIMIENTO DE LA DEMANDA

El CAD (Costo de Abastecimiento de la Demanda) no se verá demasiado afectado por la implementación de una planta de 20 MW en el total del sistema eléctrico uruguayo, no obstante, se observa una variación que se estudiará para visualizar los diferentes impactos. Si se comparan las tres situaciones (sin biomasa, con la planta de 20MW y con la de 40MW), incluyendo todas las expansiones sugeridas la Sala\_UY\_2016\_2046, se tienen los siguientes resultados.



Gráficos de Costo de Abastecimiento de la Demanda e influencia de agregar las centrales de 20MW y 40MW. En la fig.2 se grafican las variaciones para verlas en detalle.

Como se puede ver en los gráficos; el CAD con la Sala\_UY\_2016\_2046 que contiene la Planta de 20MW es levemente inferior que el escenario que no la incluye. Para la central de 40MW hay años que se ve favorecido y otros que no. Este hecho se visualizará con claridad al evaluar los gradientes de inversión.

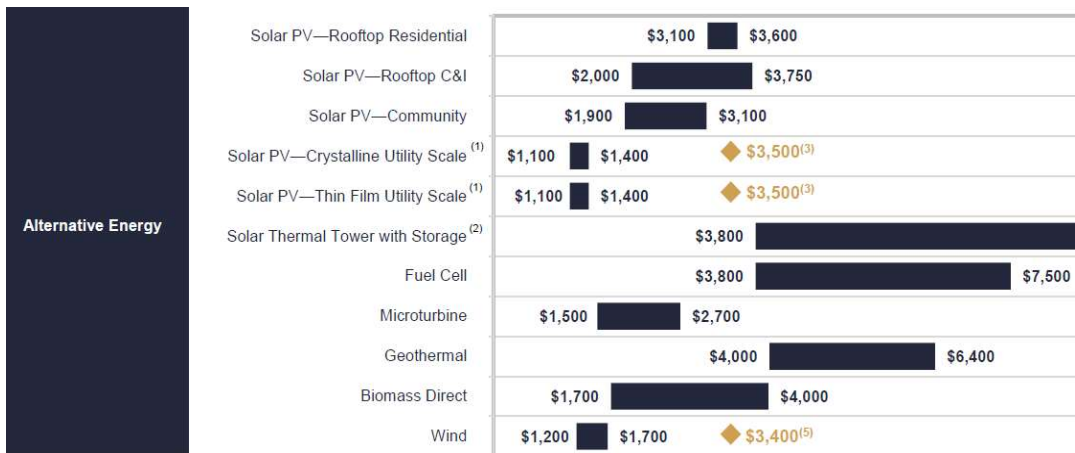
## 4. RESULTADOS

### VALORIZACIÓN DE LA CONTRATACIÓN

#### DETERMINACIÓN DEL PAGO POR POTENCIA DISPONIBLE

Para determinar el “Pago por potencia” disponible (la reconocida como potencia firme de largo plazo) se tomó como premisa un valor que permitiera reponer los costos fijos para un período de operación de 20 años. De este modo, la recuperación no sólo está sujeta a un pago variable, sino que se obliga a contratar a un costo por estar a disposición que permita rescatar la inversión y el mantenimiento anual durante el tiempo de trabajo de la Central.

Para la inversión se asume un valor 3.000 USD/kW<sub>instalado</sub>, utilizando como referencia los valores facilitados por Lazard Estimates para centrales de biomasa.



Valores estimados de inversión en USD/kW para distintas tecnologías de generación. Fuente Lazard Estimates.

Central	Inversión (MUSD)
20MW	60
40MW	120

A propósito de los datos facilitados por el problema, utilizando un factor de actualización calculado según la tasa de actualización especificada y asumiendo dólares constantes, se calcula los gastos de inversión y OyM actualizados.

### CASO 20 MW

Inversión actualizada partida en 2 años: 63 MUSD

GASTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ACTUALIZADOS										
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F	0.91	0.83	0.75	0.68	0.62	0.56	0.51	0.47	0.42	0.39
OyM	2.4	2.18	1.98	1.80	1.64	1.49	1.35	1.23	1.12	1.02
Año	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
F	0.35	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15
OyM	0.93	0.84	0.76	0.70	0.63	0.57	0.52	0.47	0.43	0.39

### CASO 40 MW

Inversión actualizada partida en 2 años: 126 MUSD

GASTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ACTUALIZADOS										
Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F	0.91	0.83	0.75	0.68	0.62	0.56	0.51	0.47	0.42	0.39
OyM	4.8	4.36	3.97	3.61	3.28	2.98	2.71	2.46	2.24	2.04
Año	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
F	0.35	0.32	0.29	0.26	0.24	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15
OyM	1.85	1.68	1.53	1.39	1.26	1.15	1.04	0.95	0.86	0.78

### RESUMEN

Planta	20 MW	40 MW
Inversión actualizada (MUSD)	63	126
OyM acumulado y actualizado (MUSD) (20 años)	22,5	45
Neto de costos fijos de operación y mantenimiento (MUSD)	85,5	171

En base a estos costos, el Pago por Potencia puesta a disposición (PP) resulta:

$$(PP): \frac{C_{fijos}}{P_{instalada} \times h \times \sum \frac{1}{(1 + tasa)^i}}$$

*C<sub>fijos</sub>: Neto costos fijos actualizados y acumulados*

**Pago por disponibilidad – Precio por potencia (USD/MW-h)**

57,31

### PARTE 1 - GRADIENTE DE INVERSIÓN

El gradiente de inversión de una tecnología, resulta ser la diferencia entre el ingreso marginal de dicha tecnología y el costo que conlleva usarla. Con este gradiente se puede determinar las inversiones necesarias para tener el costo futuro mínimo de abastecimiento de la demanda (CAD). El objetivo de saber cuál es el mínimo costo es independiente de quien haga dicha inversión (UTE, agentes privados, etc) pues el óptimo siempre será un equilibrio deseable.

Obteniendo este indicador, se podrá determinar a qué “Pago por energía” vale la pena implementar las centrales de Biomasa.

La ecuación que permite calcular el gradiente de inversión resulta:

$$(GI): \frac{\text{Beneficio marginal} - \text{Costos Fijos}}{\text{Costos Fijos}}$$

Si el beneficio por sustitución es mayor que el pago de los costos fijos, es conveniente agregar potencia de dicha tecnología al sistema. Al tener recursos más económicos resultará beneficiosa la instalación y tal condición se puede mantener hasta que se alcance el equilibrio óptimo de inversiones.

Como el sistema tiene una fuerte estacionalidad en su costo marginal, resulta complejo observar en el transcurso del año si se está incurriendo en un ahorro o en un sobrecosto. Por ello se recurre al gradiente de inversión acumulado (Suma de los gradientes de inversión para el período de estudio)

Se asume como condición favorable de incorporación de potencia adicional el momento para el cual el gradiente de inversión acumulado presenta valores crecientes, caso en el cual será beneficioso para el sistema incorporar mayor potencia de la tecnología estudiada pues el costo de utilizarla será menor que el costo marginal del sistema.

En definitiva, si el gradiente de inversión es mayor que 0 y el acumulado tiene pendiente positiva, el sistema ahorra al incorporar dicha tecnología. En ese caso, es conveniente para el sistema sumar mayor potencia de Biomasa.

En caso de tener pendiente negativa, la tecnología tendría un costo extra por trabajar con ella y no resultaría en un beneficio.



Para calcular el gradiente de inversión se utilizó el índice Grad Inv; disponible en SimSEE.

Manteniendo el “Pago por potencia” en el valor que permite recuperar los costos de inversión realizados por el inversor (57,31 USD/MW-h), se varió el “Pago por energía” de 0 a 20 USD/MWh para evaluar el límite en el cual se obtienen gradientes acumulados en ascenso y, en consecuencia, proyectos favorables para el sistema eléctrico del país.

*Nota: Se observará que la rentabilidad de estas plantas está muy acotada por la alta inversión, por tanto, al expandir con eólica y fotovoltaica buscando obtener el equilibrio a largo plazo, los gradientes se ven perjudicados, inviabilizando en muchos casos su implementación.*

### PLANTA DE 20 MW

Para el Gradiente de inversión utilizando el “Pago por energía” intermedio: 10 USD/MWh, se obtuvo el siguiente gráfico del gradiente de inversión.

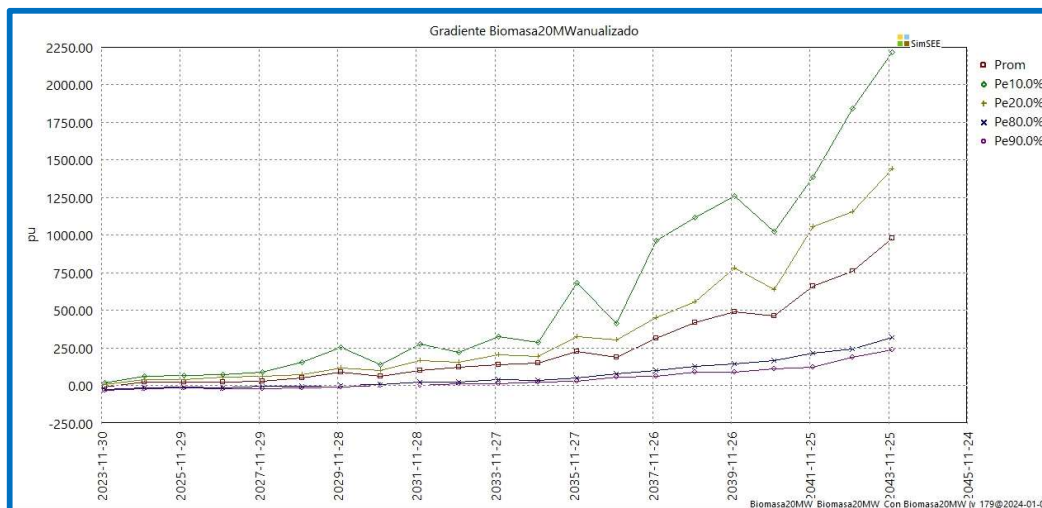
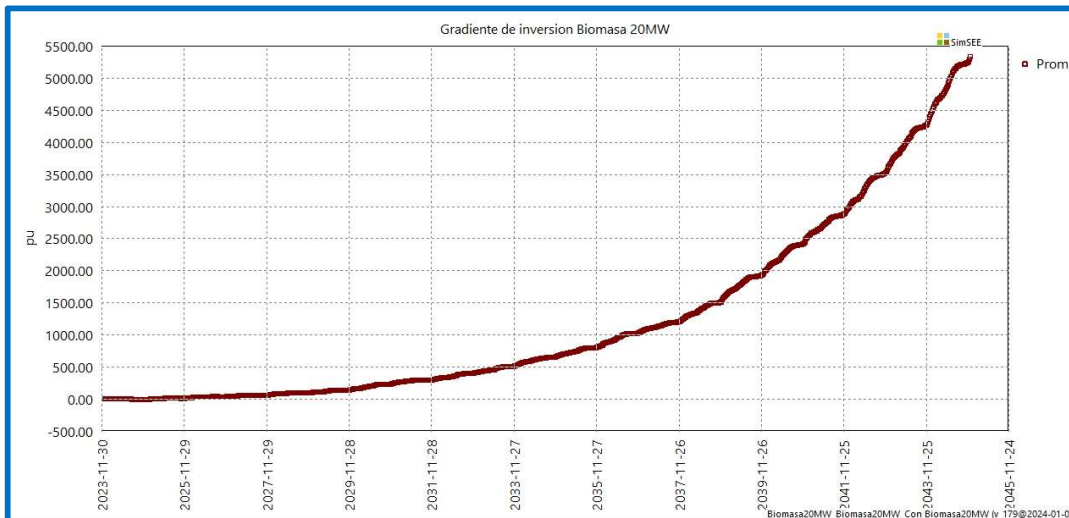


Gráfico de Gradiente de Inversión Central de Biomasa de 20MW para varias probabilidades de excedencia poniendo operativa la planta a partir del año 2023 con PAGO POR ENERGÍA de 10 USD/MWh.

Se observa que dichos valores son positivos.

Para evaluar el precio de la energía, manteniendo ese pago por potencia en un valor fijo que cumpla la condición de rentabilizar la implementación pagando los costos fijos (57,31 USD/MW-h), se evaluó el gradiente **acumulado** de inversión para distintos “Pagos por Energía”.

Éste sale de calcular la sumatoria de los gradientes de inversión para el período estudiado utilizando la post operación “acumularCronVar”.



Gradiente de inversión acumulado poniendo operativa la planta a partir del año 2023 con PAGO POR ENERGÍA de 10 USD/MWh.

Como se mencionó anteriormente, si la pendiente es positiva, el sistema eléctrico nacional se verá favorecido por el ingreso de la tecnología en cuestión. Si es negativa, no valdrá la pena invertir.

En el siguiente caso se muestran los 5 ensayos sugeridos.

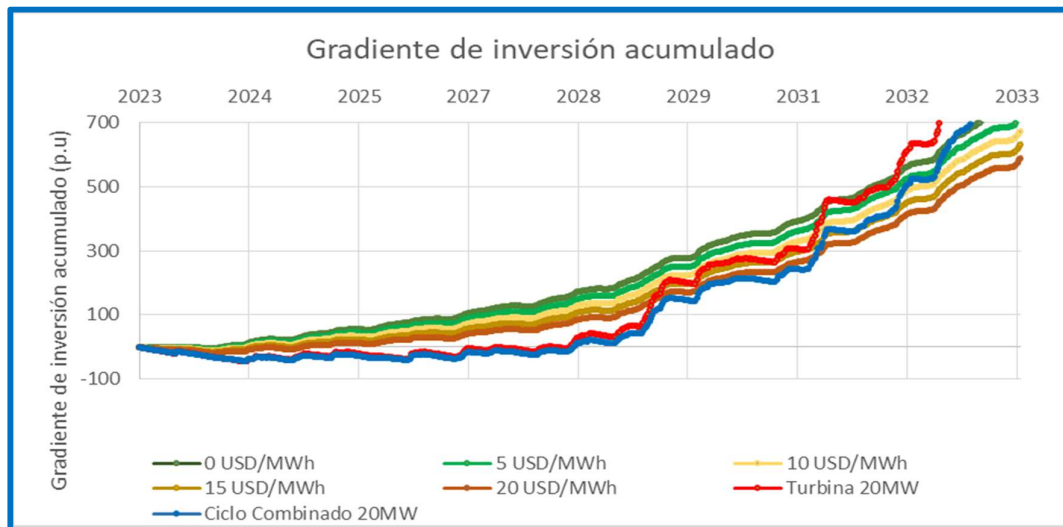


Gráfico de Gradiente de Inversión acumulado (Promedio de 100 crónicas) de una central de Biomasa puesta en operación a partir del año 2023. Se grafican los primeros años y se acota el “eje y” para ver con más claridad la pendiente. La línea roja corresponde al gradiente de inversión acumulado para una turbina a gas de 20MW y la azul para un ciclo combinado “ejemplo simbólico” de 20MW.

Se observa que sin expansiones de eólica o fotovoltaica, el gradiente de inversión acumulado de la Biomasa tiene pendiente positiva en todos los casos. Sumado a esto, si comparamos la instalación de una planta de Biomasa de 20MW, frente a la de una turbina a gas (línea roja) de igual tamaño o a un ciclo combinado (línea azul), puestos en marcha en la misma fecha (Usando los mismos datos de la turbina aeroderivada y ciclo combinado propuestos como expansión en la sala Sala\_UY\_2016\_2046, pero con potencia de 20MW), se observa que resulta más favorable el uso de la biomasa (Pendiente positiva frente a pendiente negativa).

Se tomaron los siguientes datos de Turbina a Gas tipo Aeroderivada de la sala disponible para 20MW, factor FD: 0,85 y TMR: 360 horas para realizar la comparación.

Costo variable incremental (USD/MWh)	104	Pago por potencia (USD/MWh)	14
Costo variable no combustible (USD/MWh)	10	Pago por energía (USD/MWh)	0

Se tomaron los siguientes datos del Ciclo Combinado de la sala disponible para 20MW, factor FD: 0,85 y TMR: 360 horas para realizar la comparación.

Costo variable incremental (USD/MWh)	82	Pago por potencia (USD/MWh)	18
Costo variable no combustible (USD/MWh)	8,3333	Pago por energía (USD/MWh)	0

De ante mano, se puede ver que los costos utilizados para la Biomasa resultan más agradables que los relativos al uso de gas.

Costo variable incremental (USD/MWh)	0	Pago por potencia (USD/MWh)	57,31
Costo variable no combustible (USD/MWh)	0	Pago por energía (USD/MWh)	Variable

Las emisiones ahorradas por utilizar una central de biomasa de 20MW en lugar de una turbina de gas de 20 MW se representan en el siguiente gráfico utilizando los datos sobre emisiones de CO<sub>2</sub> de Lazard - Levelized Cost of Energy—Key Assumptions.

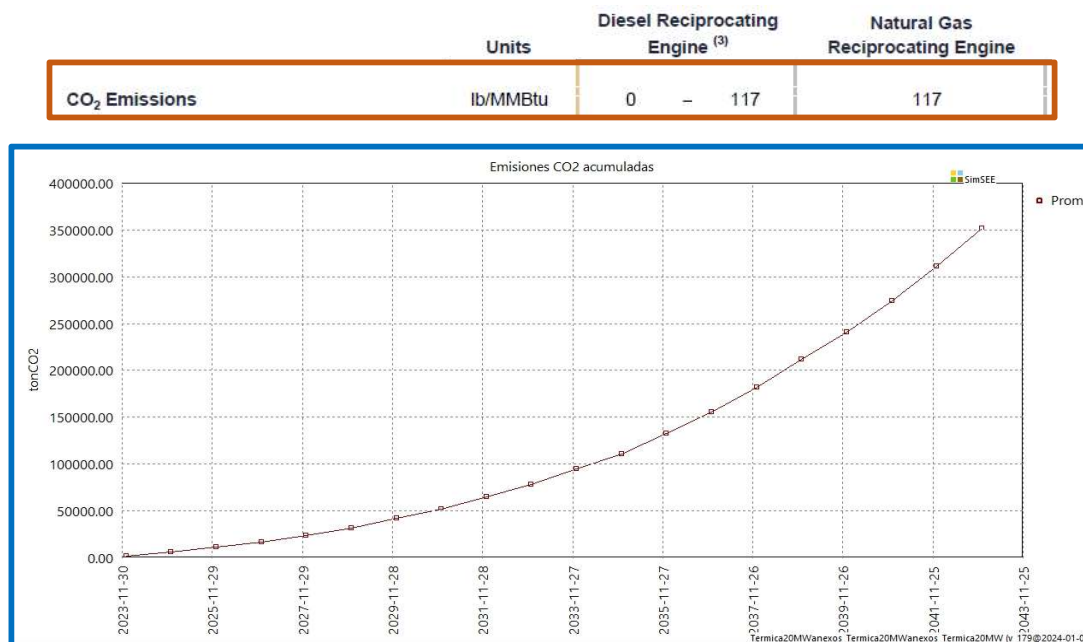


Gráfico de ahorro de emisiones acumuladas por utilizar Biomasa en lugar de Gas Natural.

No obstante, si a la sala le reinstalamos las expansiones de eólica y solar sugeridas, cuyos precios son similares o más favorables que los de la Biomasa y vienen descendiendo notoriamente desde el 2009 a la fecha (67% la eólica y 86% la solar según la consultora Lazard), los gradientes resultan menos favorables.

Aplicando la expansión eólica-solar sugerida por la sala habilitando la capa 4 sugerida por la sala a partir del 2023.

Capa: 4

Padre_Clase	Padre_Nombre	Clase	Nombre	InfoAd
TParqueEolico	Exp_Eolica	TFichaUnidades	-sn-	4, 28/4/2030, I:50 M:0
TParqueEolico	Exp_Eolica	TFichaUnidades	-sn-	4, 26/4/2036, I:150 M:0
TParqueEolico	Exp_Eolica	TFichaUnidades	-sn-	4, 26/4/2037, I:300 M:0
TParqueEolico	Exp_Eolica	TFichaUnidades	-sn-	4, 26/4/2038, I:450 M:0
TParqueEolico	Exp_Eolica	TFichaUnidades	-sn-	4, 26/4/2039, I:650 M:0
TParqueEolico	Exp_Eolica	TFichaUnidades	-sn-	4, 25/4/2041, I:950 M:0
TParqueEolico	Exp_Eolica	TFichaUnidades	-sn-	4, 25/4/2043, I:1150 M:0
TGTer_Basico	UPM2	TFichaGTer_Basico	-sn-	PMax= 120 MW, cv= 0 USD/MWh, fdisp= 0,9 p.u., tRep= 180h
TParqueEolico	Exp_SolarPV	TFichaUnidades	-sn-	4, 30/4/2023, I:600 M:0
TParqueEolico	Exp_SolarPV	TFichaUnidades	-sn-	4, 29/4/2026, I:800 M:0
TParqueEolico	Exp_SolarPV	TFichaUnidades	-sn-	4, 29/4/2027, I:850 M:0
TParqueEolico	Exp_SolarPV	TFichaUnidades	-sn-	4, 28/4/2028, I:950 M:0
TParqueEolico	Exp_SolarPV	TFichaUnidades	-sn-	4, 28/4/2029, I:1250 M:0
TParqueEolico	Exp_SolarPV	TFichaUnidades	-sn-	4, 28/4/2030, I:1500 M:0
TParqueEolico	Exp_SolarPV	TFichaUnidades	-sn-	4, 28/4/2031, I:1600 M:0
TParqueEolico	Exp_SolarPV	TFichaUnidades	-sn-	4, 27/4/2032, I:1650 M:0
TParqueEolico	Exp_SolarPV	TFichaUnidades	-sn-	4, 27/4/2033, I:1700 M:0
TParqueEolico	Exp_SolarPV	TFichaUnidades	-sn-	4, 27/4/2034, I:1750 M:0
TParqueEolico	Exp_SolarPV	TFichaUnidades	-sn-	4, 27/4/2035, I:1850 M:0
TParqueEolico	Exp_SolarPV	TFichaUnidades	-sn-	4, 26/4/2036, I:2000 M:0
TParqueEolico	Exp_SolarPV	TFichaUnidades	-sn-	4, 26/4/2038, I:2100 M:0
TParqueEolico	Exp_SolarPV	TFichaUnidades	-sn-	4, 26/4/2039, I:2300 M:0
TParqueEolico	Exp_SolarPV	TFichaUnidades	-sn-	4, 25/4/2041, I:2600 M:0
TParqueEolico	Exp_SolarPV	TFichaUnidades	-sn-	4, 25/4/2042, I:2400 M:0
TParqueEolico	Exp_SolarPV	TFichaUnidades	-sn-	4, 25/4/2043, I:2550 M:0

Detalle de capa 4 facilitada en la Sala\_UY\_2016\_2046

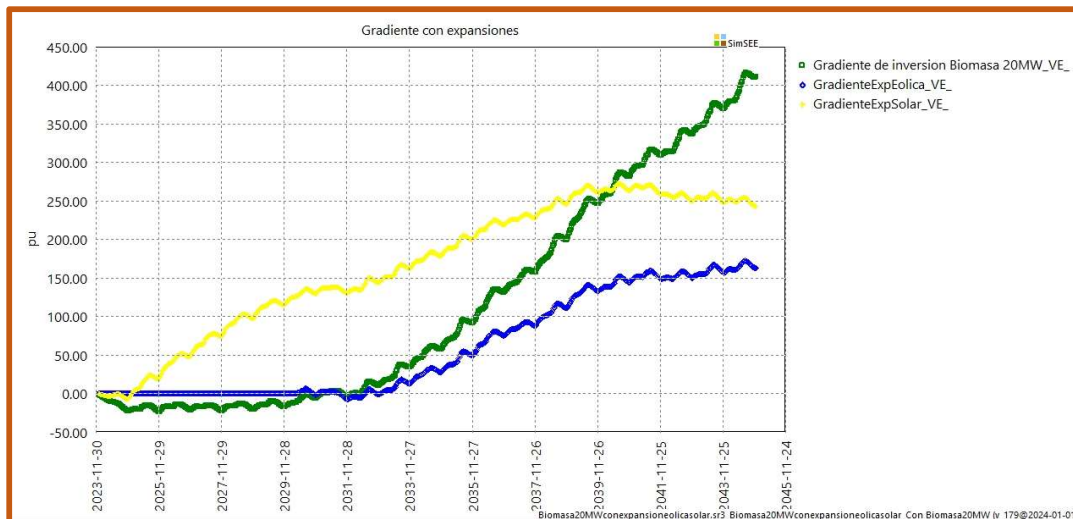


Gráfico sala SIMSEE de Gradiente de Inversión acumulado de Biomasa con instalación de expansión eólica y solar sugeridas en sala Sala\_UY\_2016\_2046 y Biomasa 20MW con Pago por Energía de 10USD/MWh. La expansión cuenta con un precio por MWh de Eólica de 69 USD y de Solar Fotovoltaica de 40 USD.

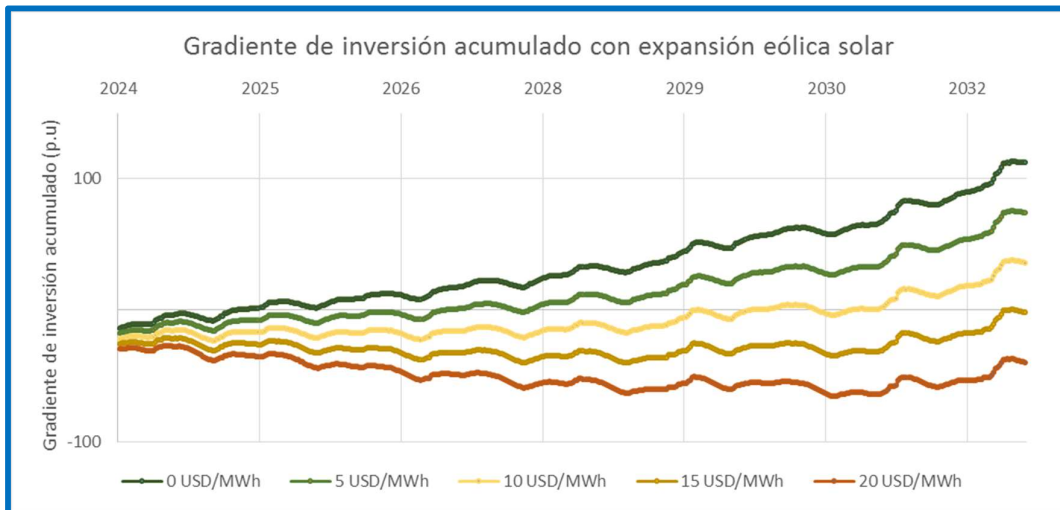


Gráfico de Gradiente de Inversión acumulado (Promedio de 100 crónicas) de una central de Biomasa puesta en operación a partir del año 2023 con las expansiones eólica y solar sugeridas en la Sala\_UY\_2016\_2046.

En este caso, el límite de “Pago por Energía” que arroja una pendiente positiva es el de 10 USD/MWh.

### PLANTA DE 40 MW

Con la instalación de una planta de 40MW se busca hacerle frente al posible desajuste en la convocatoria de la central térmica, dada la dificultad en lo que respecta a la indisponibilidad de las plantas de biomasa (Dificultades de almacenamiento de combustible y la inercia de la puesta en marcha). Para ello se propone una central de 40MW, pero se topea la Energía máxima en 3.360 MWh por paso; marcando en SimSEE el casillero  $E_{\text{maxpaso}}$  (MWh) de la pestaña Generador Térmico Básico.

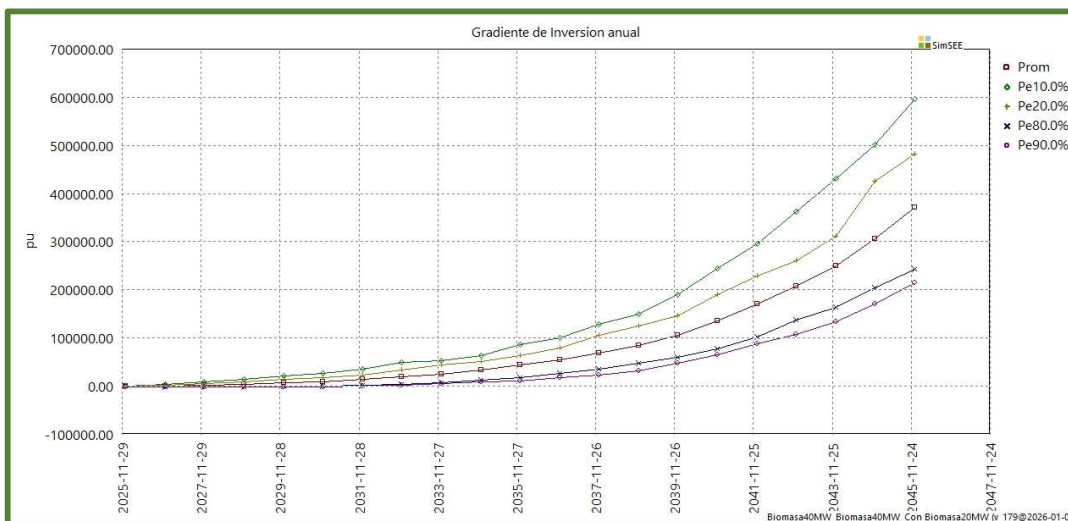


Gráfico de SimSEE de Gradiente de Inversión de Central de Biomasa de 40MW para varias probabilidades de excedencia poniendo operativa la planta a partir del año 2023 con PAGO POR ENERGÍA de 10 USD/MWh.

Se instala la planta en el 2023 y se varía el precio de la energía de 0 a 20 USD/MWh para ver el comportamiento del gradiente acumulado y alcanzar un equilibrio de inversiones.

Como era de esperarse, con la planta de 40MW, si bien las pendientes no son notoriamente negativas, el gradiente acumulado resulta menos favorable respecto al caso anterior.

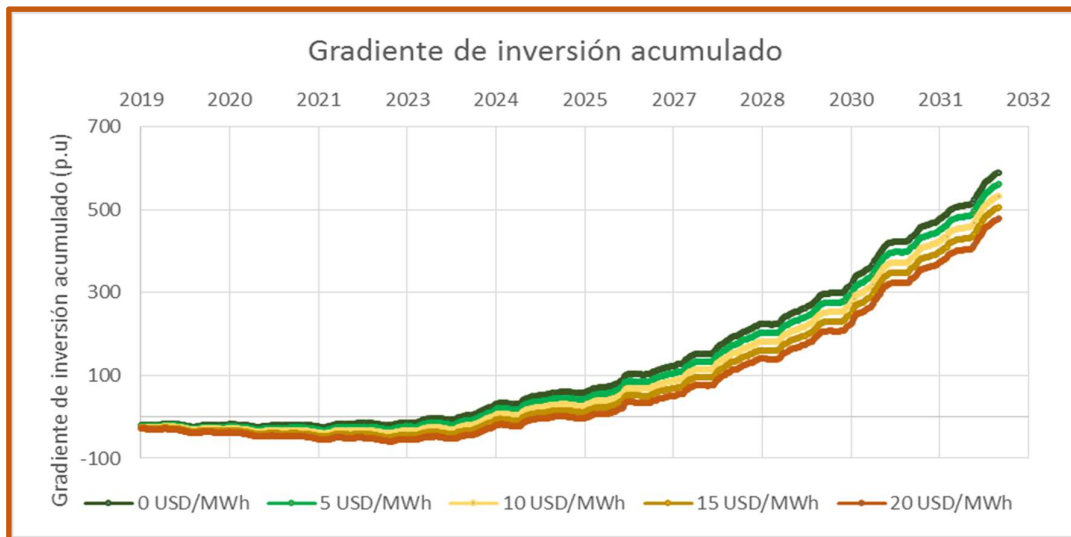


Gráfico de Gradiente de Inversión acumulado (Promedio de 100 crónicas) de una central de Biomasa puesta en operación a partir del año 2023 de 40MW, pero con una media de despacho de 20MW.

Si le sumamos las expansiones eólica y solar, se observa que todos los gradientes acumulados tienen tendencia negativa, por tanto, ante la adición de tecnología fotovoltaica y aerogeneradores, la inversión en plantas de Biomasa (con una producción acotada de energía) no resulta provechosa para el sistema.

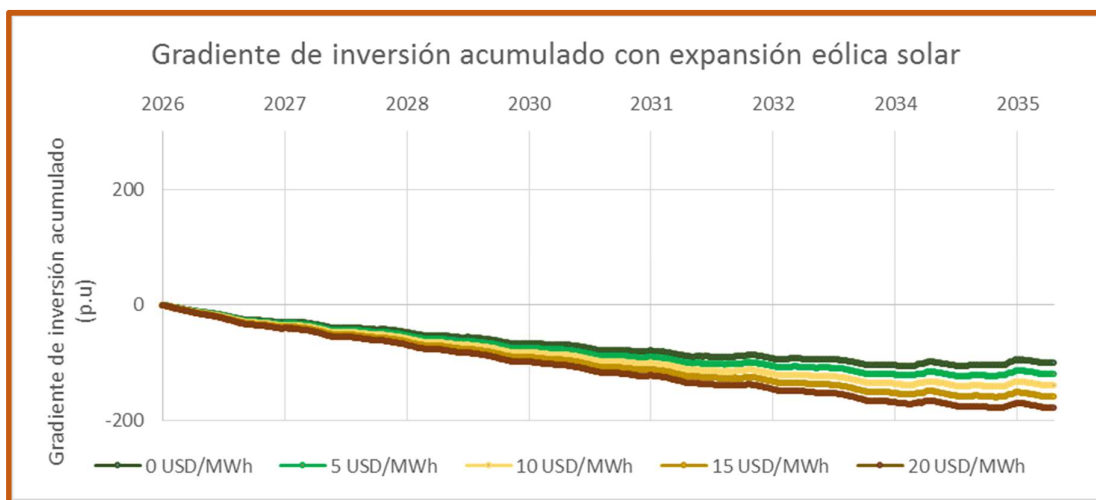


Gráfico de Gradiente de Inversión acumulado (Promedio de 100 crónicas) de una central de Biomasa de 40MW con media de consumo topeada en 20MW, puesta en operación a partir del año 2023 con las expansiones eólica y solar sugeridas en la Sala\_UY\_2016\_2046.

## PARTE 2 - CÁLCULO DEL VPN DE LAS CENTRALES DE BIOMASA

El valor de introducir una central de Biomasa al sistema eléctrico uruguayo se realiza a través del cálculo de las utilidades del sistema a valor presente. El VPN resulta entonces el valor de la ganancia total generada por la inversión a lo largo de su vida útil evaluada como cobros – pagos – inversión y referida al año inicial de la misma. Si este valor es positivo, crea riqueza, el proyecto será rentable a la tasa seleccionada y se recupera el dinero invertido. Si el VPN es positivo a esa tasa, y luego se consigue financiamiento por debajo dicha tasa de descuento, el proyecto se vuelve aún más favorable.

El valor presente de un flujo de fondos  $f(i)$  (comprendido como los ingresos menos los costos), será:

$$VP: \sum \frac{f(i)}{(1 + tasa)^i}$$

Para determinar las utilidades y el VPN de la tecnología propuesta utilizando la herramienta SimSEE se asume una tasa de descuento del 10%.

Para ello, se discriminarán los ingresos y egresos anuales actualizados.

Los ingresos a evaluar son:

- Pago por potencia (Disponibilidad).-
- Pago por energía.-

Los egresos a evaluar:

- Inversión.-
- Operación y mantenimiento.-
- Los costos variables se asumen nulos.-

Todos estos valores deben ser actualizados con una tasa de descuento de 10%.

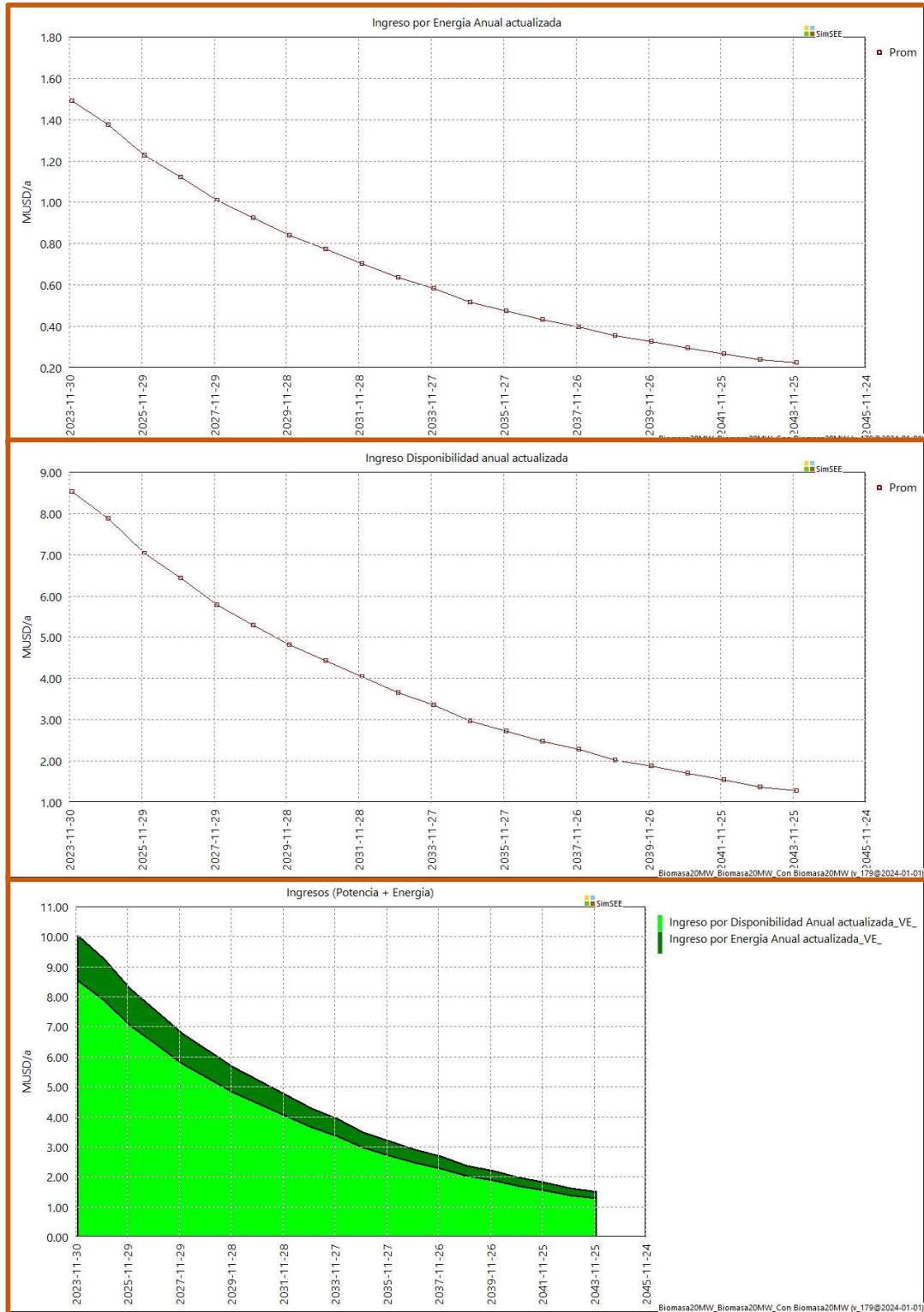
Para ver el valor del VPN se tomará el “Pago por Energía” de 10 USD/MWh y el “Pago por disponibilidad” de 57,31 USD/MW-h. Se toma como valor de operación y mantenimiento anual el 4% de la inversión. El repago estará representado por el corte de los ingresos netos con el 0. Si este valor es muy cercano a la vida proyectada de 20 años, se deberá analizar si el proyecto vale la pena implementarse o no.

Se asume que la planta se instala en el 2023. Los ingresos y costos variables (OyM) comenzarán a contabilizarse a partir del año siguiente a la implementación.

El uso de SIMSEE para determinar estos indicadores económicos permite ser más certeros en su cálculo, dado que se tienen múltiples crónicas que responden a distintas situaciones que pueden ocurrir a la hora de implementar estos proyectos. Hay crónicas en las cuales puede ocurrir que el VPN dé negativo y el proyecto no resulte rentable y hay algunas en que ocurrirá todo lo contrario.

## PLANTA 20 MW

### INGRESOS ANUALES ACTUALIZADOS



Gráficos de SimSEE de ingresos por disponibilidad y energía para central de Biomasa de 20MW.



## EGRESOS VARIABLES - OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

### VALORES ANUALES ACTUALIZADOS

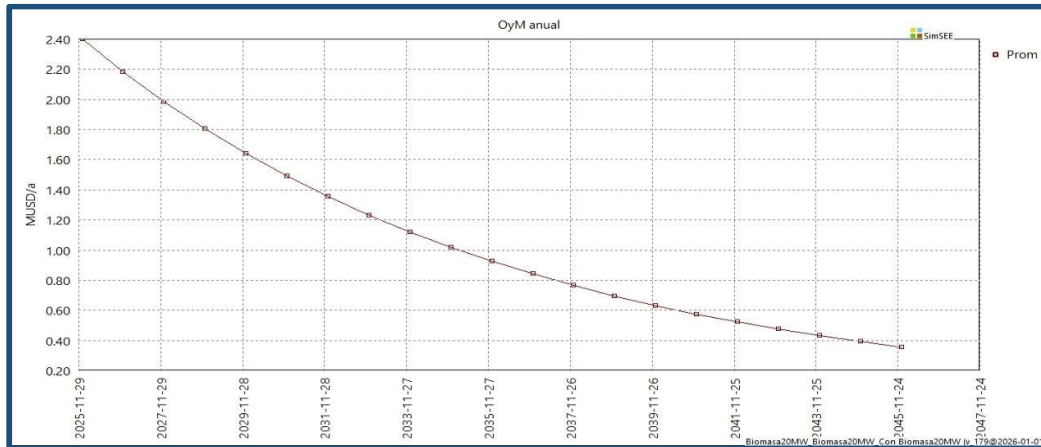
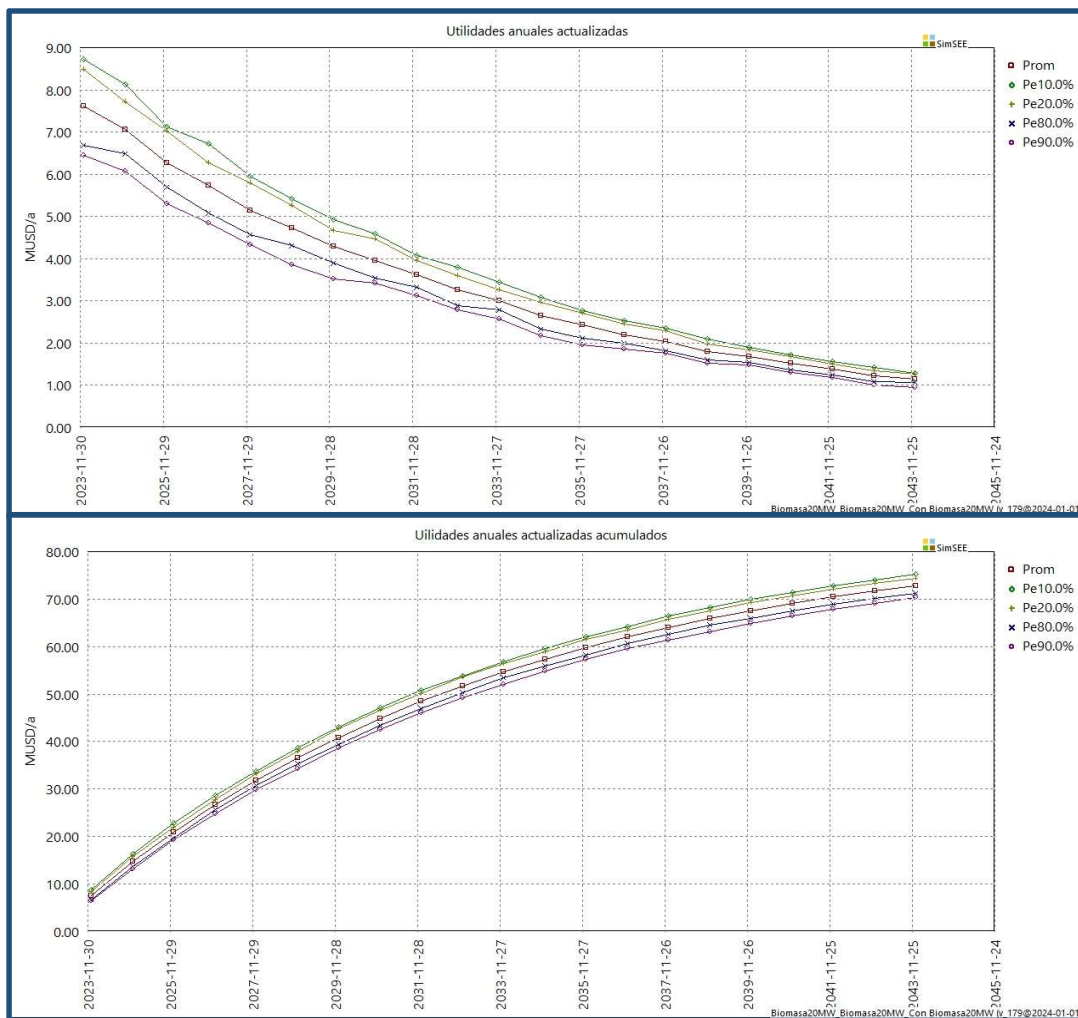


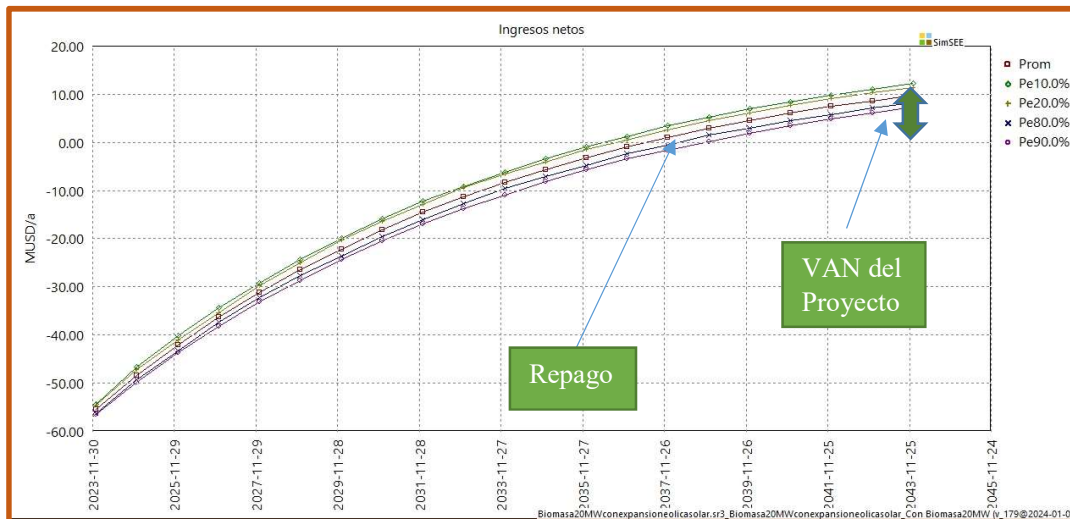
Gráfico de SimSEE de Costos de operación y mantenimiento actualizados (4% anual de la inversión).

## UTILIDADES NETAS - VALORES ANUALES ACTUALIZADOS



Gráficos de SimSEE de utilidades anuales para la planta de 20MW.

### VALOR PRESENTE ANUALIZADO Y ACTUALIZADO



Gráficos de SimSEE de valores presentes para varias probabilidades de excedencia para la Planta de 20MW.

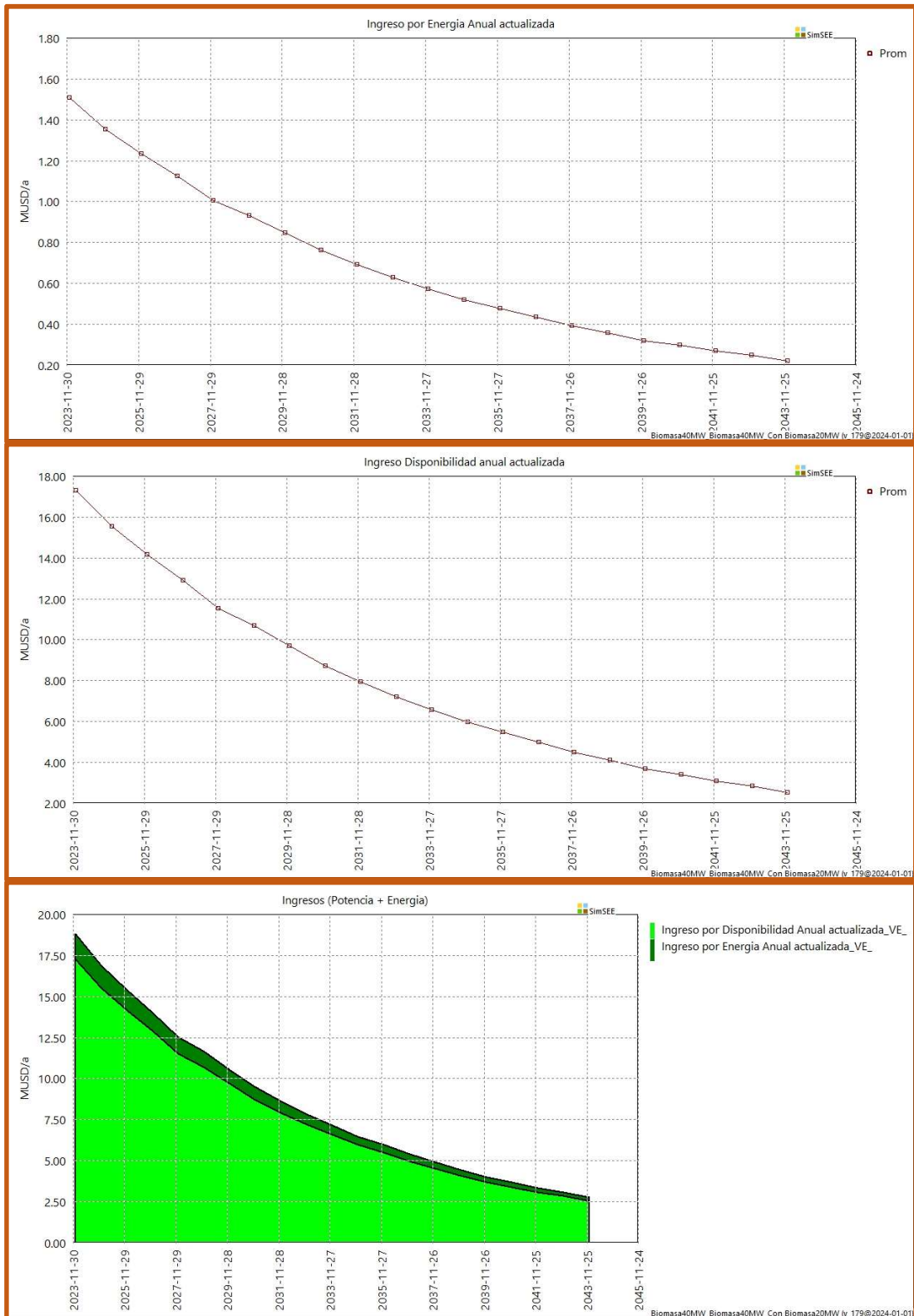
NOTA: En este caso el VPN es positivo y el proyecto se asume rentable para los precios establecidos de “Energía” y “Potencia” aunque el repago resulta bastante largo (14 años).

El programa trabaja con una semilla desde la cual se generan valores pseudo-aleatorios. Los resultados presentados fueron realizados con una semilla igual a 31. Si se comparan los resultados con otra semilla se observa que la diferencia no resulta significativa en el cálculo del VPN:

VPN para distintas semillas (MUSD) – 20 AÑOS					
Semilla	Promedio	Pe10.0%	Pe20.0%	Pe80.0%	Pe90.0%
31	8,6559	11,0607	10,3605	7,1266	6,1216
101	8,4666	10,9760	10,2078	6,8279	5,5651
151	8,4674	10,9597	10,1517	6,8417	5,3289

## PLANTA 40 MW

### INGRESOS ANUALES ACTUALIZADOS



Gráficos de SimSEE de ingresos por disponibilidad y energía para central de Biomasa de 40MW.

## EGRESOS VARIABLES - OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

### VALORES ANUALES ACTUALIZADOS

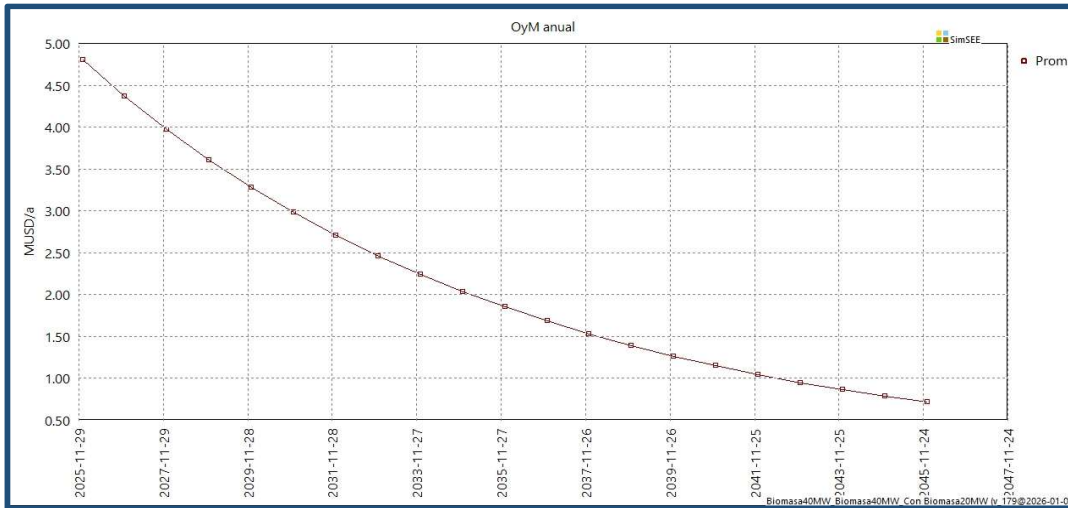
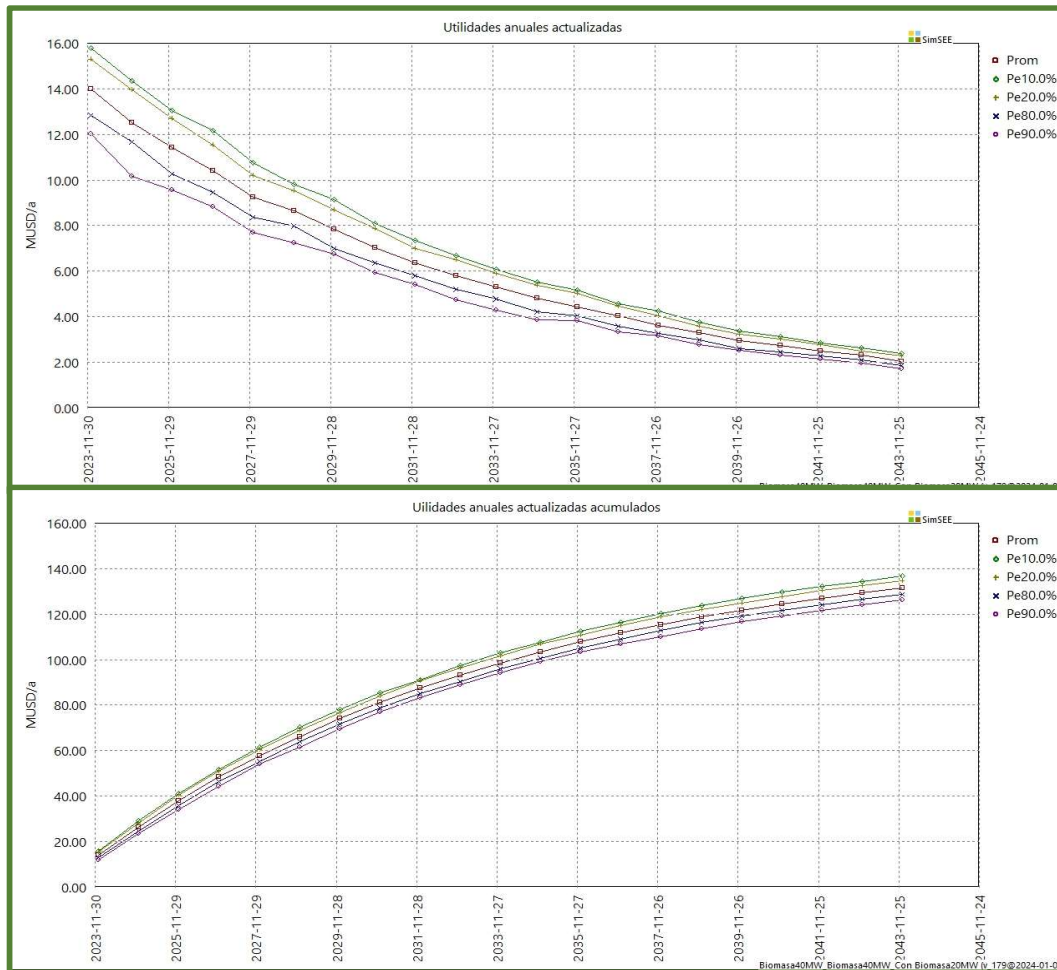


Gráfico de SimSEE de Costos de operación y mantenimiento actualizados para central de 40MW.

### UTILIDADES NETAS - VALORES ANUALES ACTUALIZADOS



Gráficos de SimSEE de utilidades anuales para central de 40MW.

## VALOR PRESENTE ANUALIZADO Y ACTUALIZADO

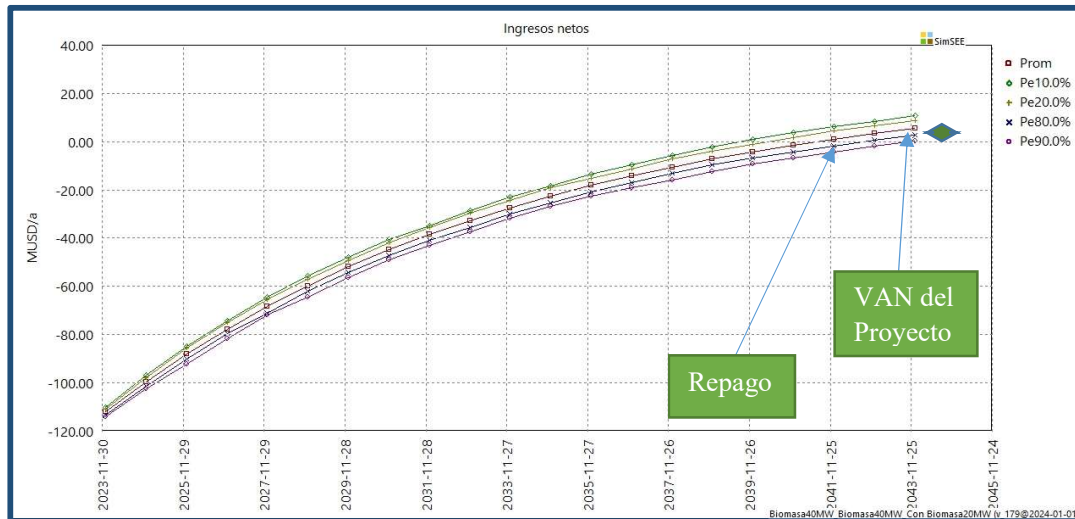


Gráfico de SimSEE de Valor Presente para planta de Biomasa de 40MW.

## 5. POSIBLES FUTUROS TRABAJOS Y CONCLUSIONES

La inclusión de la Biomasa como fuente energética implica el uso de un recurso renovable, muchas veces desechado, que puede ser utilizado para su aprovechamiento energético, pero que no ha encontrado cabida aún en nuestro país debido fundamentalmente al alto costo de inversión en las centrales y a la dificultades inherentes en su uso como combustible. En este trabajo se supuso un costo nulo del energético, aunque es sabido que dicha premisa no es realista. (Nos aproximamos a esa realidad cuando se utilizan residuos energéticos o cuando la energía se produce en un ciclo de cogeneración en plantas industriales donde el vapor de baja presión como parte de los procesos)

La Biomasa permite contar con un respaldo térmico disponible en nuestro país; aprovechando las hectáreas plausibles de forestación. Hoy en día se utiliza sólo la tercera parte de dicho espacio. Incluso existen varios proyectos sobre aprovechamiento de residuos agrícolas, agroindustriales, cultivos energéticos y hasta residuos urbanos que pueden ser evaluados con la premisa de reducir los costos.

En función de lo analizado, en la búsqueda de implementar las centrales de biomasa bajo alguna estrategia que las rentabilice, se puede pensar también en analizar el mercado industrial uruguayo con el fin de co-generar y abaratar los costos de instalación además de producir vapor para el uso en procesos o combinar colectores solares con centrales de Biomasa para ajustar la disponibilidad del recurso.

Se sugiere además, en lo que respecta al programa, la posibilidad de comparar dos o más salas a través de los gráficos de SimRes3 para independizarse de las planillas Excel.

## ANEXO

Las post operaciones utilizadas en SIMSEE para la determinación del VPN se presentan a continuación:

Tipo de operación	Resultados	Parámetros variables crónicas	Parámetros adicionales					
cambioPasoDeTiempo	Energía despachada anual	Energía despachada	horasPasoNuevo= 8760, tipoCPT= 2					
cronVarPorReal	Ingreso por Energía	Ingreso por Energía	aReal= 1E-6					
cambioPasoDeTiempo	Ingreso por Energía Anual	Ingreso por Energía	horasPasoNuevo= 8760, tipoCPT= 2					
cronVarPorReal	Ingreso por Disponibilidad	Ingreso por Disponibilidad	aReal= 1E-6					
cambioPasoDeTiempo	Ingreso por Disponibilidad Anual	Ingreso por Disponibilidad	horasPasoNuevo= 8760, tipoCPT= 2					
cronVarPorReal	OyM	OyM	aReal= 0					
cronVarMasReal	OyM	OyM	aReal= 0,046027397					
cambioPasoDeTiempo	OyM anual	OyM	horasPasoNuevo= 8760, tipoCPT= 2					
aplicarActualizador	OyM anual	OyM anual	q= 0,909090909090909					
aplicarActualizador	Ingreso por Energía Anual actualizada	Ingreso por Energía Anual	q= 0,909090909090909					
aplicarActualizador	Ingreso por Disponibilidad Anual actu...	Ingreso por Disponibilidad Anual	q= 0,909090909090909					
combinarCronVars	Utilidades netas	OyM anual, Ingreso por Disponibilidad...	coeficientes= [-1, 1, 1]					
acumularCronVar	Utilidades netas acumuladas	Utilidades netas	-					
cronVarMasReal	Ingresos netos	Utilidades netas acumuladas	aReal= -63					

Ejemplo Post Operaciones SimRes3 para cálculo del VPN del sistema de central de Biomasa de 20MW.