

## **Aporte de los parques eólicos a la Reserva Rotante**

Autores: Patricia Cobelli y Bruno López

*Grupo 1*

Instituto de Ingeniería Eléctrica - FING.  
Trabajo final curso SimSEE edición 2019  
Montevideo - Uruguay.

IMPORTANTE: Este trabajo se realizó en el marco del curso Simulación de Sistemas de Energía Eléctrica (SimSEE) y fue evaluado por el enfoque metodológico, la pericia en la utilización de las herramientas adquiridas en el curso para la resolución del estudio y por la claridad de exposición de los resultados obtenidos. Se quiere dejar expresamente claro que no es relevante a los efectos del curso la veracidad de las hipótesis asumidas por los estudiantes y consecuentemente la exactitud o aplicabilidad de los resultados. Ni la Facultad de Ingeniería, ni el Instituto de Ingeniería Eléctrica, ni el o los docentes, ni los estudiantes asumen ningún tipo de responsabilidad sobre las consecuencias directas o indirectas que asociadas al uso del material del curso y/o a los datos, hipótesis y conclusiones del presente trabajo.

## Contenido

Contenido .....	2
1. Objetivos.....	3
2. Hipótesis de trabajo .....	3
3. Metodología.....	4
3.1. Reserva rotante en SimSEE.....	4
3.2. Análisis de la expansión .....	5
3.2.1. Procedimiento para seleccionar el NID.....	5
4. Resultados del estudio .....	6
4.1. Análisis del sistema eléctrico actual .....	6
4.2. Análisis de las simulaciones en SimSEE.....	8
4.2.1. Resultados de OddFace .....	8
4.2.2. Participación de la eólica en la reserva .....	9
4.2.3. Detalle de la simulación anual.....	10
4.2.4. Detalle de la simulación semanal .....	14
4.2.5. Análisis de sensibilidad con Factores de reserva.....	15
5. Posibles futuros trabajos .....	15
5.1. Factor de reserva dinámico .....	15
5.2. Confiabilidad de la eólica en la reserva rotante .....	15
5.3. Análisis de costos de operación ante distintos escenarios. ....	16

## 1. Objetivos

El objetivo general de este trabajo consiste en analizar la viabilidad técnica y económica del aporte de potencia eólica a la Reserva rotante secundaria del Sistema Interconectado Nacional (SIN). Actualmente la Reserva rotante del SIN se ha definido en 50 MW, constante a lo largo del año, y se provee con centrales hidráulicas y térmicas. Para realizar el estudio se plantea la realización de simulaciones de la operación del sistema eléctrico utilizando el programa SimSEE.

Los objetivos específicos considerados para este trabajo consisten, en primera instancia, en evaluar la implementación en SimSEE del algoritmo desarrollado para resolver la operación del sistema considerando un mercado de Reserva rotante. Además, se plantea el análisis de la dinámica actual del SIN para identificar y determinar los parámetros que deben ser tenidos en cuenta por el SimSEE en las simulaciones. El último objetivo, que abarca la mayor parte del trabajo realizado, consiste en ejecutar simulaciones en el SimSEE para analizar el escenario del SIN comprendiendo un mercado de Reserva Rotante dinámica. En particular, se caracterizará la participación de la energía eólica en el mercado de Reserva.

## 2. Hipótesis de trabajo

La estrategia propuesta para realizar el análisis consiste en simular, utilizando SimSEE, escenarios hipotéticos del sistema con una demanda mayor a la actual. Esta determinación se realizó con el objetivo de analizar situaciones que cuentan, a priori, con mayor probabilidad de aporte de la energía eólica en el mercado de Reserva rotante. Para determinar la configuración de la matriz de generación de energía eléctrica en los escenarios hipotéticos, se realizaron simulaciones de expansión de la matriz con el programa OddFace. La expansión de unidades de generación se realizó con instalaciones de energía eólica, energía solar y centrales térmicas con turbinas de gas.

Además, se definió que los generadores que pueden realizar aportes de potencia a la Reserva rotante son los generadores hidroeléctricos, eólicos y térmicos. Los generadores hidroeléctricos designados para realizar aportes de Reserva son las centrales de Salto Grande y Rincón del Bonete. Los generadores eólicos habilitados para realizar aportes son todas las unidades de generación. Por último, en el caso de los generadores térmicos se determinó que el aporte de Reserva sea realizado únicamente por turbinas de gas, incluyendo las turbinas de ciclo combinado.

Durante el trabajo se realizaron otras hipótesis menores que son mencionadas convenientemente en las secciones del documento.

## 3. Metodología

### 3.1. Reserva rotante en SimSEE

La capacidad del SimSEE para resolver el problema de optimización de la operación del SIN, considerando un mercado de reserva rotante, fue primeramente desarrollada en el marco de un trabajo de fin de curso SimSEE. Este proyecto, titulado “Simulación del Sistema de Energía Eléctrica con Reserva rotante”, tuvo como objetivo incorporar la Reserva rotante en el programa SimSEE y analizar su funcionamiento considerando el aporte de reserva proveniente únicamente de máquinas térmicas.

En el marco del presente trabajo, el docente del curso Ruben Chaer, extendió las capacidades del SimSEE previamente implementadas para considerar el aporte a la Reserva rotante de las fuentes de energía hidroeléctrica y eólica. Además, se agregaron máquinas de falla de reserva, con el objetivo de asignar un costo económico cuando se cumple parcialmente con la demanda de Reserva rotante.

La metodología del algoritmo de Reserva implementado consiste en crear nuevas variables y restricciones que son incorporadas en el sistema de ecuaciones algebraicas que definen el problema de optimización del despacho de potencia. El sistema de ecuaciones se resuelve en SimSEE empleando el Método de optimización Simplex, y su solución consiste en la política óptima de operación del sistema. A continuación, se describen las restricciones del algoritmo de optimización:

- Balance de potencia. La suma de la potencia inyectada al nodo debe ser igual a la suma de la demanda de potencia en el nodo.
- Balance de Reserva rotante. La suma de la potencia reservada inyectada al nodo debe ser igual a la suma de la reserva de potencia requerida por la demanda. Esta reserva de potencia se determina en cada paso temporal como un porcentaje fijo de la demanda total en el paso. El porcentaje requerido se define como Factor de reserva rotante de la demanda y es establecido en el SimSEE en el módulo de edición de la demanda. La Reserva rotante no agrega un nuevo nodo, de modo que esta restricción se agrega al mismo nodo de potencia.
- Límite superior de generación. Los generadores que aportan potencia y Reserva rotante al nodo están limitados por la potencia nominal del generador. De esta manera, la suma de la potencia inyectada al nodo y la potencia destinada a la Reserva rotante debe ser menor o igual que la potencia nominal del generador.
- Límite superior de aporte. La cantidad de potencia que cada generador puede aportar a la Reserva rotante, en cada paso de tiempo, debe ser menor o igual que un porcentaje prestablecido de la potencia disponible del generador, en el mismo paso de tiempo. Esta restricción se define como *restricción de caja*. El porcentaje prestablecido se define como Factor de reserva rotante de la fuente de generación, y se establece en el SimSEE en el módulo de edición de cada fuente. Además, el generador solo puede aportar a la Reserva rotante en un paso temporal determinado, si se encuentra inyectando potencia activa al nodo.

Con respecto al costo variable, dado que la potencia destinada a la Reserva no es despachada, el aporte de Reserva rotante no agrega ningún costo de operación del sistema. De esta manera, a la Reserva rotante se le asigna un costo variable igual a cero.

## 3.2. Análisis de la expansión

Para simular en SimSEE escenarios hipotéticos en los que la demanda es mayor a la actual, es necesario determinar de manera aproximada como estaría constituida la matriz de generación. Para definir la cantidad de unidades de generación en cada escenario, se hicieron análisis de inversión óptima utilizando el programa OddFace. De esta manera, se ejecutaron salas de largo plazo en OddFace entre los años 2019 y 2047, imponiendo una expansión anual constante de la demanda hasta el año 2046. Las expansiones analizadas se definieron para escenarios hipotéticos con dos veces la demanda actual (expansión anual de 2,6 %), tres veces la demanda (expansión anual de 4,2 %), y 5 veces la demanda (expansión anual de 6,1 %). La expansión de unidades de generación se realizó con instalaciones de energía eólica, energía solar y centrales térmicas con turbinas de gas.

Los parámetros definidos para realizar las simulaciones de expansión en OddFace se detallan en la tabla 3-1. En todos los casos, se consideró que el tiempo requerido para la construcción de las unidades de generación es nulo.

Tipo de expansión	Años de vida	MUSD/UI	Proporción indexada	Tasa anual	Máx. UI/vez	Máx. UI activas	UG/UI
Eólica	20	82	0.2	0.1	10*AD	100*AD	20
Solar	20	17.32	0.4	0.1	20*AD	200*AD	50
Turbinas de gas	40	0	0	0	10*AD	100*AD	1

*Tabla 3-1. Detalles de las posibles tecnologías a instalar en OddFace, siendo AD la cifra por la cual se aumenta la demanda en cada escenario de expansión.*

### 3.2.1. Procedimiento para seleccionar el NID

Una vez que se ha verificado la convergencia de la función objetivo del caso estudiado, se procede a seleccionar el número NID asociado a la expansión que se utilizará en la sala de corto plazo. El procedimiento para seleccionar el NID es desarrollado a continuación.

En primer lugar, se descarga un archivo de consulta en OddFace ordenado según la función objetivo. Se toma el 25% menor y se realiza un histograma según dicha función (ver figura 4-1). A partir de ello, se selecciona el Nid cuyo valor de función objetivo es más cercano al del valor medio del bin con más ocurrencias, representado con una línea roja en la figura 4-1. Además, se verificó que la cantidad de ocurrencias de los casos elegidos sea mayor o igual a dos.

Una vez realizado el análisis, se descarga la sala de largo plazo de OddFace y se toman las unidades instaladas de energía eólica, energía solar y turbinas de gas en el año 2046 de la simulación. Para verificar que el resultado es coherente, se lo compara con el de otras salas de largo plazo con función objetivo similares. Finalmente, las unidades instaladas son agregadas como actores en las salas de corto plazo asociadas al mismo aumento en la demanda.

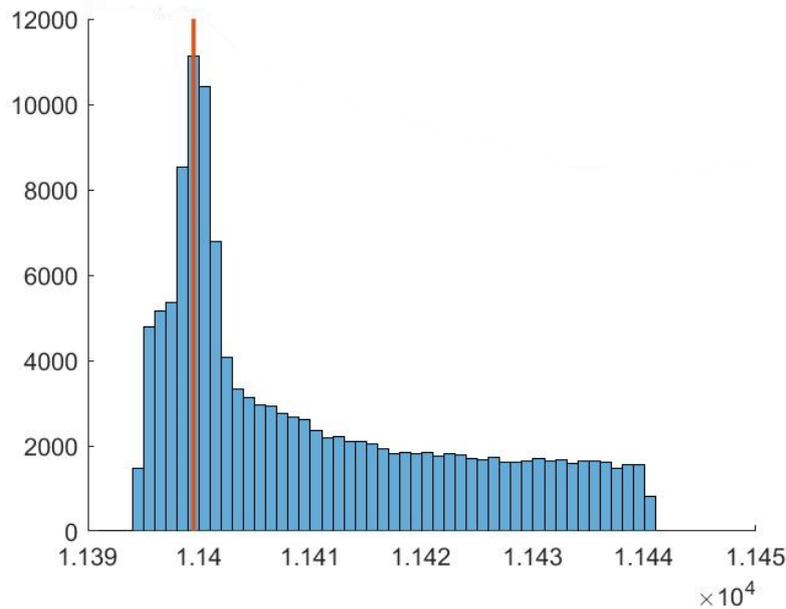


Figura 3-1. Histograma de la función objetivo del último 25% de los datos de OddFace, con la demanda duplicada.

## 4. Resultados del estudio

### 4.1. Análisis del sistema eléctrico actual

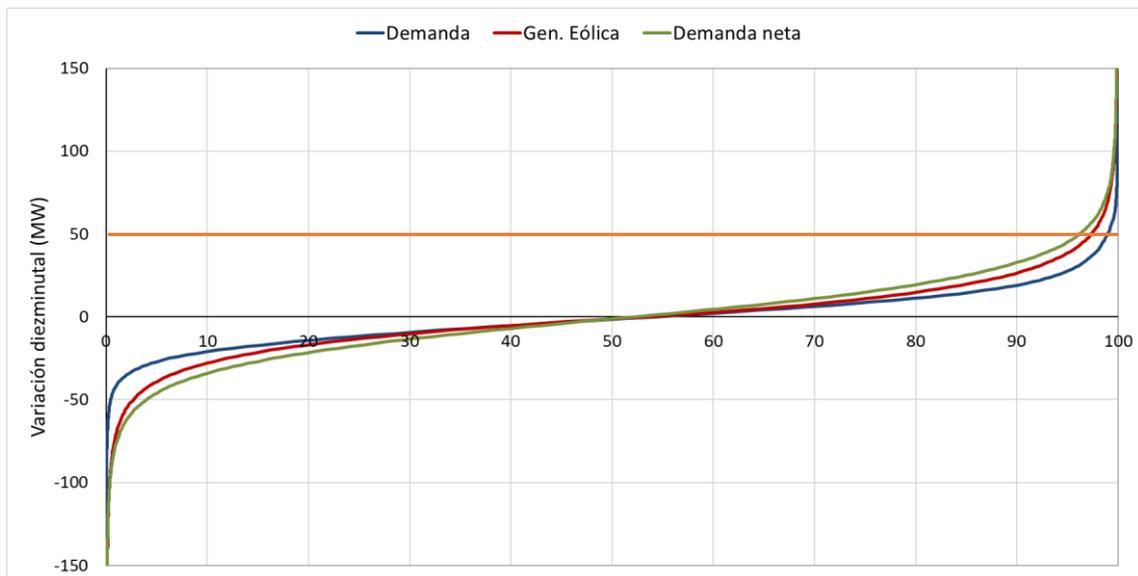
Uno de los objetivos específicos de este trabajo consiste en caracterizar el sistema eléctrico actual. Este análisis es necesario para determinar valores adecuados de los Factores de reserva rotante de la demanda y las fuentes de generación, que deben ser indicados en el SimSEE previo a la simulación. El estudio se realizó considerando los datos de demanda y generación de cada una de las fuentes correspondientes al año 2018, que fueron descargados del sitio web de ADME (adme.com.uy). Los datos corresponden a valores promedio de las señales en ventanas temporales de diez minutos.

En primera instancia se calcularon las variaciones de potencia diezminutales de los actores que tienen mayor variabilidad en el sistema eléctrico. Estos actores son la demanda y la generación de energía eólica. Además, se calcularon las variaciones diezminutales de la demanda neta, definida como la diferencia entre la demanda y la generación eólica. A partir de las variaciones calculadas se determinó la función de probabilidad de ocurrencia para cada señal de potencia analizada. Los resultados se muestran en la figura 4-1.

Si se considera una variación diezminutal positiva de potencia de 50 MW, se obtiene que, en el año 2018, la variación de la demanda superó este valor el 1% del tiempo, mientras que la generación eólica lo hizo el 2,6 % del tiempo y la demanda neta el 3,8% del tiempo (ver figura 4-1). Actualmente la Reserva rotante del SIN se ha definido en 50 MW, constante a lo largo del año, y se provee con centrales hidráulicas y térmicas. Esto significa que el sistema está cubierto ante variaciones diezminutales de la potencia el 96,2% del tiempo, que se entiende es razonable. Si se considera la potencia media

demandada en el mismo período de tiempo, cuyo registro fue de 1273 MW, la potencia destinada a la reserva representa el 3,9% de la demanda media de potencia.

Tal como se describió en la sección de Metodología, la implementación en SimSEE de la Reserva rotante considera un requerimiento de Reserva rotante variable, determinado como un porcentaje de la demanda de potencia. Para realizar este trabajo se definió un Factor de reserva de la demanda igual al 5%, que es del orden de lo destinado actualmente, si se considera la potencia media.



*Figura 4-1. Probabilidad acumulada de la variación de potencia diezminutal de la demanda, la generación eólica y la demanda neta. El estudio se realizó utilizando datos del año 2018.*

Por otra parte, para determinar un Factor de reserva adecuado para el aporte de la energía eólica, se compara la variabilidad diezminutal de la generación eólica con respecto a la energía eólica inyectada en la misma ventana temporal (ver figura 4-2). El eje Y del gráfico de dispersión indica la relación porcentual de la variación diezminutal con respecto a la energía eólica generada, mientras que el eje X indica la energía eólica generada. A partir de los datos presentados en el gráfico se observa que, a excepción de las situaciones de generación eólica cercanas a cero, la variación diezminutal negativa de la generación eólica nunca supera el 70% de su potencia generada. La interpretación de esta observación es que, dado un nivel de generación eólica en una ventana temporal, el 30% está asegurado en la siguiente ventana diezminutal, con probabilidad muy cercana a 1. De esta observación se define entonces un Factor de reserva rotante de la eólica de 0,3.

En el caso de la energía térmica, se estableció un Factor de reserva rotante de 0,9, ya que las máquinas térmicas tienen un mínimo técnico de generación del 10% de su potencia nominal. Finalmente, para el caso de la energía hidráulica se definió un Factor de reserva de 0,5. En la sección 4.2.5 se presenta un análisis de sensibilidad con respecto a los Factores de reserva seleccionados.

Además, de la figura 4-2 se observa que el valor diezminutal máximo de potencia eólica generada en el año 2018 es de 1400 MW, que es aproximadamente la potencia eólica instalada.

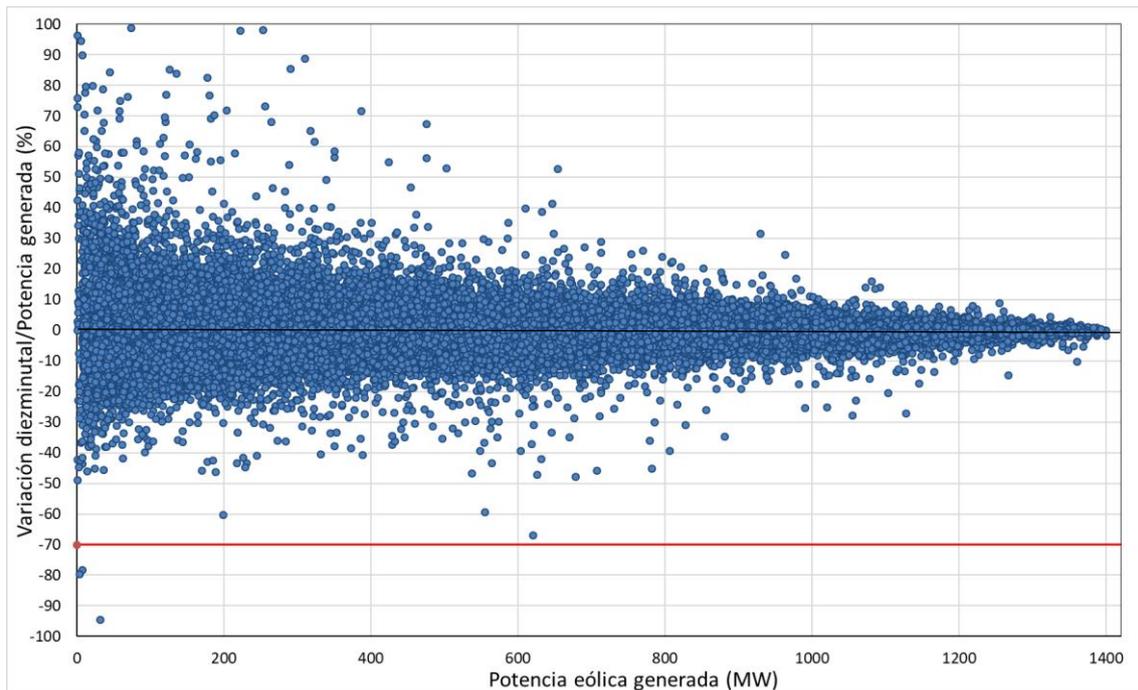


Figura 4-2. El gráfico de dispersión indica la variación diezminutal porcentual de la generación eólica con respecto a la potencia eólica generada en cada ventana temporal de diez minutos.

Por último, cabe destacar que el análisis presentado en esta sección para determinar el Factor de reserva de la eólica es aproximado. En este sentido, el estudio realizado de las variaciones diezminutales de la serie histórica de generación eólica, no contempla la existencia de restricciones operativas. En efecto, se asume que en cada ventana temporal se produce toda la energía disponible.

## 4.2. Análisis de las simulaciones en SimSEE

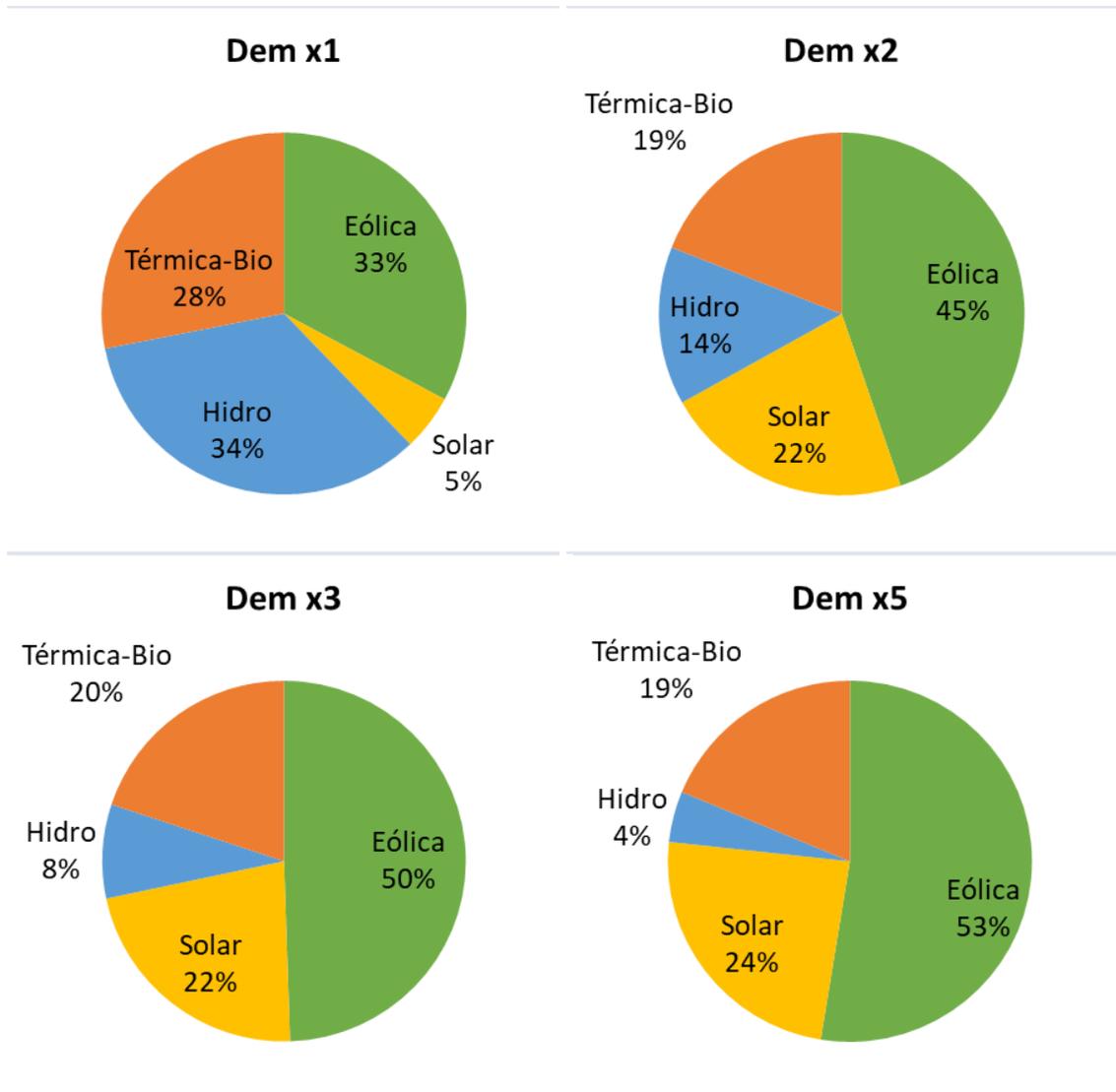
### 4.2.1. Resultados de OddFace

En primera instancia se descarga el NID seleccionado según el procedimiento descrito en la sección 3.2.1, obteniéndose una sala de largo plazo con su expansión correspondiente. A partir de las salas descargadas, se toma registro de la cantidad de unidades instaladas en el año 2046 de la simulación de OddFace, y se agregan en los actores de la sala de corto plazo. En la figura 4-3 se representa la distribución de la matriz energética obtenida en las tres expansiones estudiadas: dos, tres y cinco veces la demanda actual.

Los resultados muestran un crecimiento considerable en la potencia instalada de la energía eólica y, en menor medida, de la energía sola. En este sentido, la eólica representa más del 50% del total para los casos en que se triplica y quintuplica la demanda. Se observa además una disminución en la energía hidroeléctrica, lo cual era esperable dado que no fue considerada como una posibilidad de expansión en OddFace.

Es notorio que en los tres casos simulados en OddFace la proporción de potencia instalada en forma de energía solar y térmica junto con biomasa es aproximadamente

constante para los distintos casos de aumento de la demanda, siendo un 22% y 20% respectivamente. La penetración de la energía eólica, en cambio, aumenta al incrementar la demanda.



*Figura 4-3. Distribución de la potencia instalada según fuente a utilizar en las salas de corto plazo. Además de los tres escenarios a analizar (dos, tres y cinco veces la demanda), se muestra la distribución actual de la matriz energética.*

#### 4.2.2. Participación de la eólica en la reserva

Para cada uno de los escenarios se realizaron simulaciones de corto plazo en SimSEE, utilizando paso de tiempo horario, a lo largo de un año. El período considerado en las simulaciones comprende desde el día 6/5/2018 hasta el 6/5/2019. De esta manera, en cada simulación se calcularon en total 9120 pasos de optimización y 8760 pasos de simulación.

Se independiza la simulación de las condiciones iniciales al cambiar las fechas de inicio de los sintetizadores CEGH a una fecha anterior a la del inicio de optimización. En particular, se tomó como inicio el 29/04/2010.

La energía eólica es modelada como un conjunto parques eólicos de 1MW, con factor de disponibilidad 1 y Factor de reserva rotante 0.3. Lo mismo ocurre con la energía solar, con la diferencia de que esta no aporta a la reserva rotante.

Por otro lado, la energía hidroeléctrica está compuesta por tres centrales hidroeléctricas con embalse (Salto Grande, Bonete y Palmar) y un generador hidráulico de pasada (Baygorria). Tanto Salto Grande como Bonete tienen un Factor de reserva de 0.5 y los restantes actores hidráulicos no aportan a la reserva.

El conjunto de generadores térmicos y de biomasa son representados como generadores térmicos básicos, perteneciendo a este grupo las turbinas de gas, los ciclos combinados, los motores diesel e industrias de cogeneración como UPM. En este caso únicamente aportan a la reserva rotante las turbinas de gas de 60MW y los ciclos combinados de 540MW, ambas con un Factor de reserva de 0.9, considerando que tienen como requisito de funcionamiento un mínimo técnico del 10% de la potencia nominal.

De acuerdo con el análisis de la sección 4-1, el Factor de reserva rotante de la demanda se define en 5%.

A partir de la impresión de variables crónicas es posible determinar la participación de la Energía Eólica en la reserva rotante y la reserva total. Se simularon 100 crónicas en total, los resultados promedio de estas se encuentran en la tabla 4-1.

		Eólica	Solar	Térmica	Hidráulica	Biomasa	Falla
<b>Demx2</b>	Reserva	19.9	-	10.0	70.0	-	0.0
	Generación	56.0	21.0	3.2	13.3	6.5	0.0
<b>Demx3</b>	Reserva	23.7	-	14.7	61.4	-	0.2
	Generación	60.0	23.1	4.1	8.6	4.2	0.0
<b>Demx5</b>	Reserva	27.8	-	16.4	55.3	-	0.4
	Generación	61.4	26.2	5.0	4.9	2.4	0.0

*Tabla 4-1. Proporción de aporte de las distintas fuentes a la generación de energía y a la Reserva rotante en simulaciones de un año en salas de corto plazo.*

Al incrementar la demanda, aumenta la penetración de la energía eólica en la matriz, creciendo su participación en la generación y en la reserva rotante. Esto no afecta la probabilidad de falla en la generación y no se considera como significativa la probabilidad de falla en la reserva. En este sentido, se observó la presencia de falla en la Reserva rotante menor al 0.5% en el caso más crítico, es decir, en el escenario de la demanda quintuplicada. Además, se observa una disminución en el aporte de la energía hidroeléctrica a la Reserva rotante, lo cual es coherente considerando que esta no estaba dentro de las opciones de expansión de OddFace.

A continuación, se presenta un estudio con mayor profundidad del caso en que se duplica la demanda, dado que es el más cercano a la situación actual.

### 4.2.3. Detalle de la simulación anual

A partir de los resultados de la simulación correspondiente al doble de la demanda, se analizó la evolución mensual de la generación y el aporte de Reserva rotante por fuente (ver figuras 4-4 y 4-5 respectivamente).

Los resultados muestran un ciclo estacional de la demanda media mensual, que presenta sus valores máximos durante el invierno, en los meses de junio, julio y agosto. Le siguen en magnitud los meses de verano, enero y diciembre. Las fuentes térmica, hidráulica y eólica incrementan su generación en mayor medida durante los meses de invierno para cubrir el aumento de la demanda junto con la reducción de la producción de energía solar.

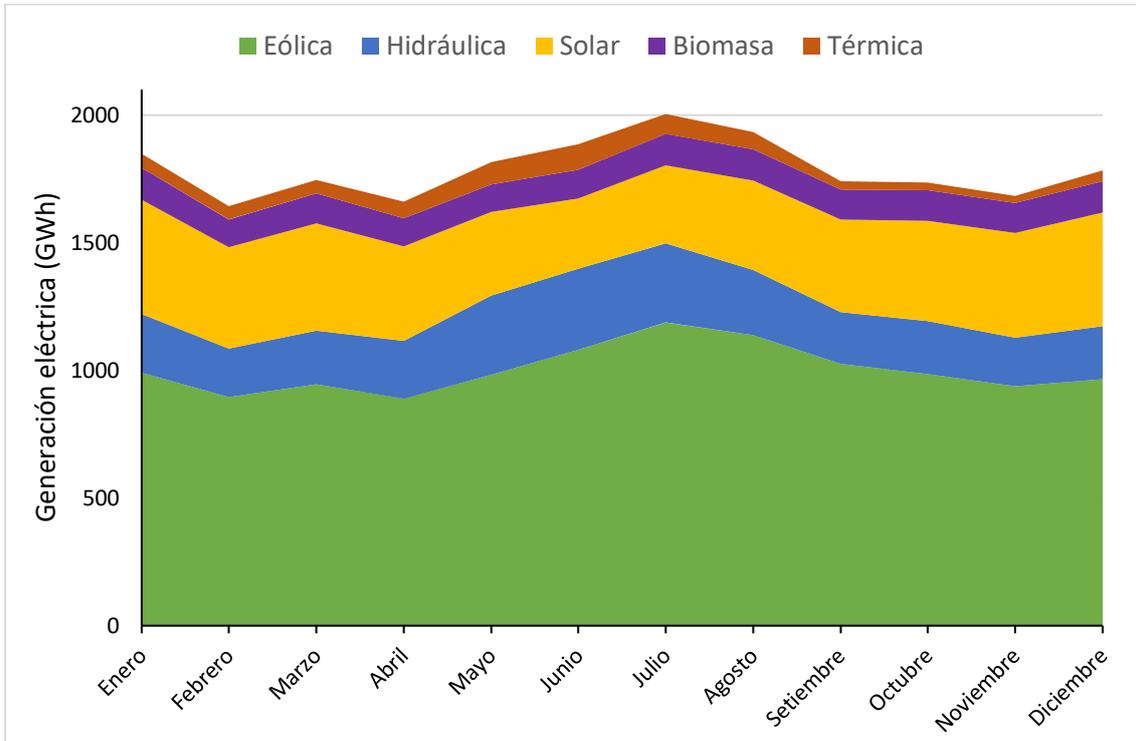


Figura 4-4. Distribución anual de la generación de energía según fuente.

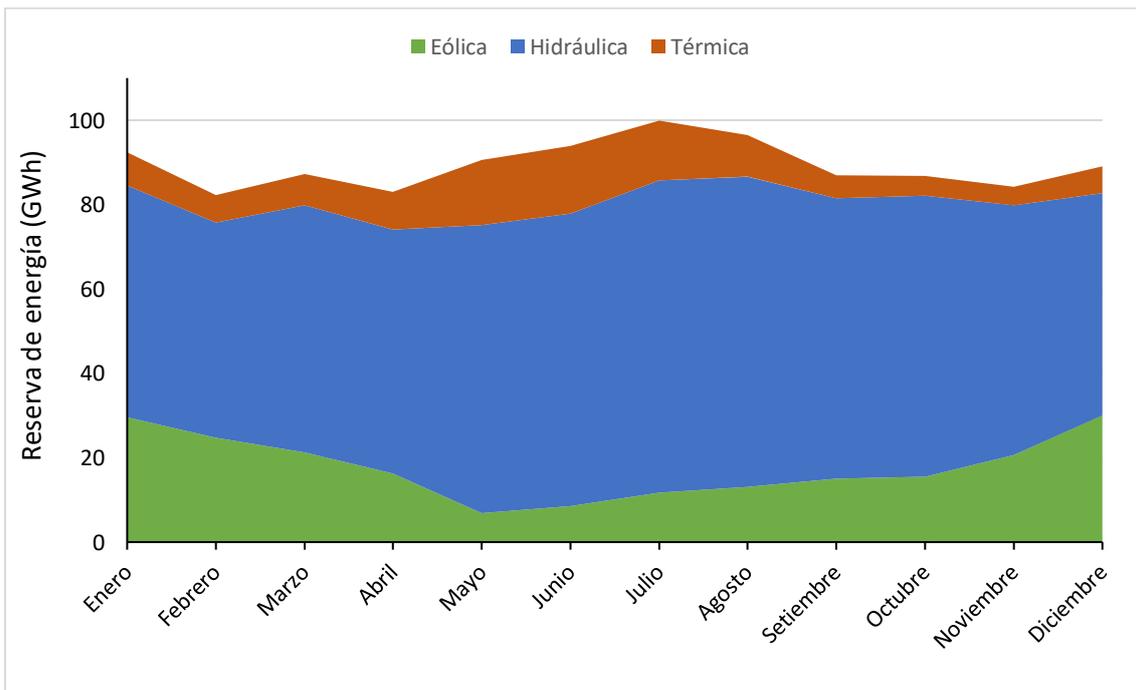


Figura 4-5. Distribución anual del aporte de Reserva rotante según fuente.

Con respecto a la Reserva rotante, se observa una fuerte disminución en el aporte de la eólica en el mes de mayo, que comienza a recobrase lentamente durante los meses de invierno. La disminución del aporte de la eólica es compensada por un aumento en la participación de la hidráulica y la térmica. Este comportamiento se puede observar de forma más clara a partir de la participación porcentual de cada una de las fuentes (ver tabla 4-2).

Mes	Hidráulica (%)	Eólica (%)	Térmica (%)
Enero	59,5	32,0	8,5
Febrero	62,0	30,2	7,8
Marzo	67,2	24,3	8,5
Abril	69,8	19,5	10,7
Mayo	75,4	7,6	17,0
Junio	73,7	9,1	17,2
Julio	74,0	11,8	14,3
Agosto	76,1	13,6	10,3
Setiembre	76,5	17,2	6,3
Octubre	76,6	17,9	5,5
Noviembre	70,2	24,6	5,2
Diciembre	59,1	33,8	7,2

*Tabla 4-2. Proporción de aporte mensual a la Reserva rotante según fuente.*

Para entender el comportamiento observado en el sistema, se presenta la evolución del costo marginal, la valorización del agua y la potencia eólica disponible (ver figuras 4-6 a 4-8). Las figuras muestran un aumento del costo marginal entre los meses de abril y julio, que corresponde a los meses de mayor participación de la térmica, junto con un incremento de la valorización del agua. Esto se debe a que la eólica tiene un costo variable nulo y, por lo tanto, resulta más económico para el sistema que la eólica sea destinada al abastecimiento de la demanda, y el requerimiento de Reserva sea cubierto por la energía hidráulica y las centrales térmicas. Se aprecia además que el mes de menor participación de la eólica en la Reserva coincide con el mes de menor potencia eólica disponible. Sin embargo, la participación de la eólica en la Reserva no parece ser afectada por la potencia eólica disponible durante los meses en que el recurso eólico es más abundante.

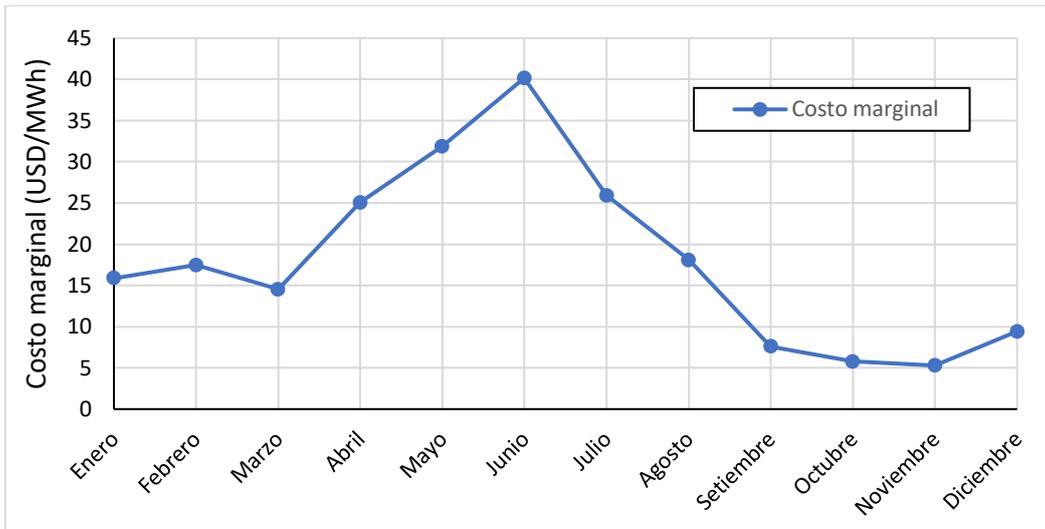


Figura 4-6. Distribución anual del costo marginal.

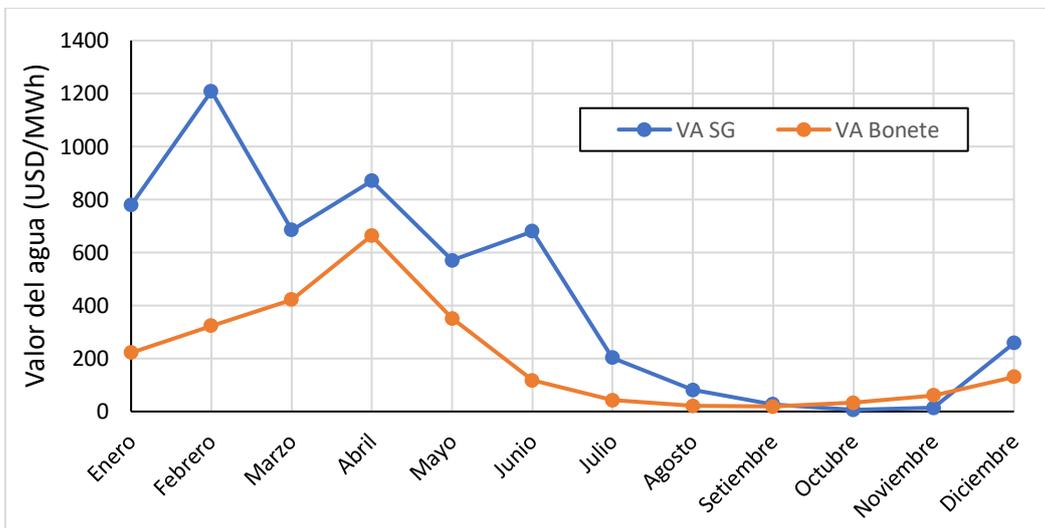


Figura 4-7. Distribución anual del valor del agua en Salto Grande y Bonete.

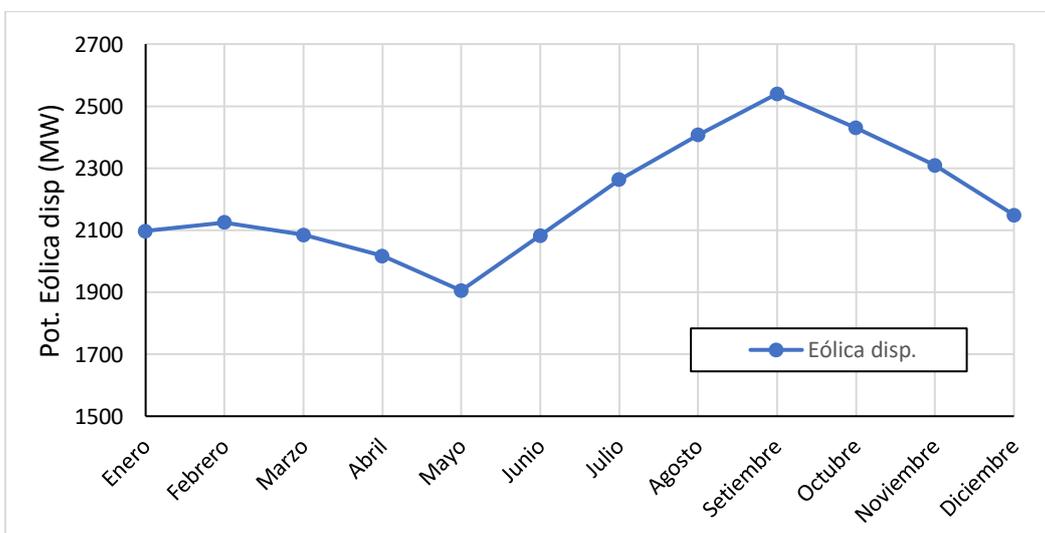


Figura 4-8. Distribución anual de la potencia eólica disponible.

#### 4.2.4. Detalle de la simulación semanal

En esta sección se presentan en detalle semanal los resultados de la simulación de corto plazo con la demanda duplicada. La semana estudiada está comprendida en el período de menor aporte de la eólica en la Reserva.

En las figuras 4-9 y 4-10 se muestran los gráficos de generación por fuente y de la Reserva rotante, respectivamente. Los resultados corresponden a los valores medios obtenidos a partir de la ejecución de 100 crónicas, con el inicio de los sintetizadores CEGH en el año 2010. Además, para la simulación semanal, se configuró el Factor de disponibilidad de todas las máquinas térmicas igual a uno.

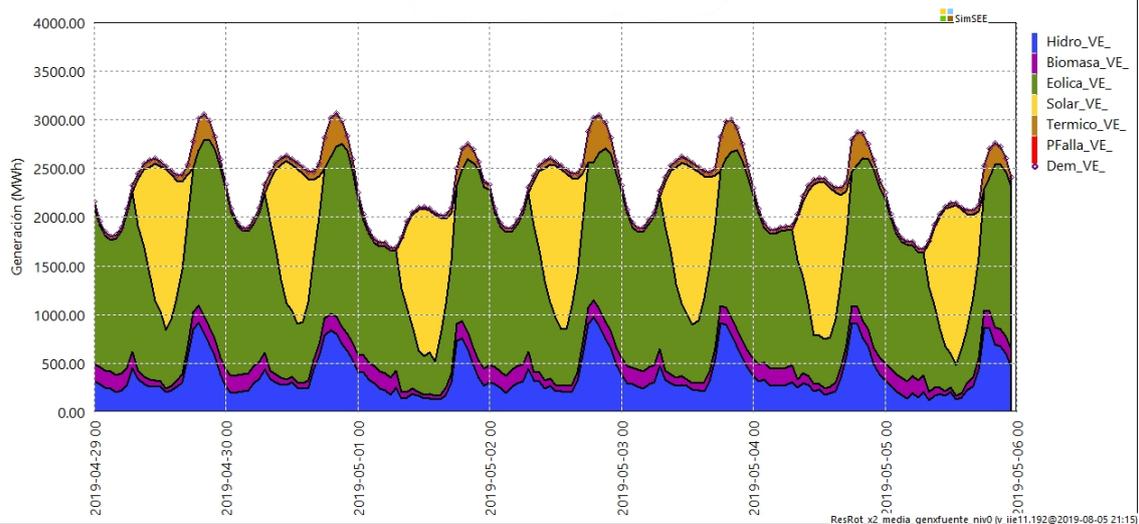


Figura 4-9. Distribución semanal de la generación según fuente.

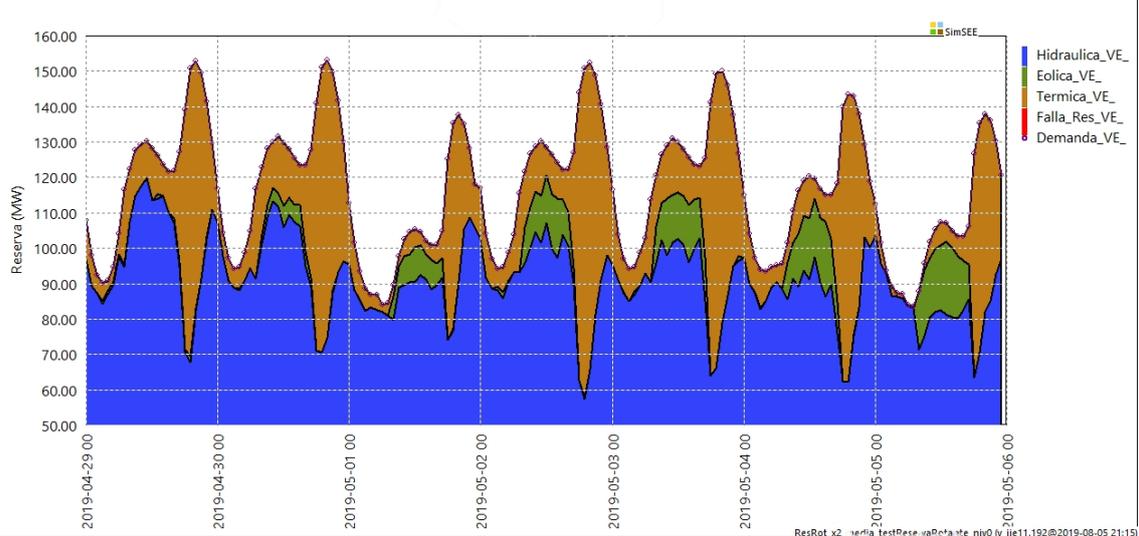


Figura 4-10. Distribución semanal del aporte a la Reserva rotante según fuente.

En el análisis semanal, se observa que la mayor participación de la eólica en la reserva rotante se da entre las 8:00 hs y las 17:00 hs. En este período del día, la generación eléctrica de las plantas fotovoltaicas provoca una reducción de la generación eólica en el mercado eléctrico. Esta reducción de energía se ve reflejada en una mayor

disponibilidad de energía eólica para aportar en la reserva rotante. Además, vale la pena destacar la cantidad de potencia aportada a la Reserva por las fuentes térmicas durante las horas de mayor demanda de potencia eléctrica. Esta semana está comprendida en el período de mayor participación de la térmica en el mercado de Reserva (ver tabla 4-2).

#### 4.2.5. Análisis de sensibilidad con Factores de reserva

Para finalizar el estudio, se realizan simulaciones anuales en la sala de corto plazo, con el doble de la demanda, para analizar la sensibilidad de los resultados ante variaciones de los Factores de reserva. A partir de los resultados presentados en la tabla 4-3, se concluye que la variación de los Factores de reserva de la generación hidráulica y eólica no afecta sus participaciones en el mercado de Reserva. Las variaciones consideradas son relativamente pequeñas, manteniendo los Factores de reserva cercanos a los valores definidos inicialmente.

Factor de Reserva			Participación en la Reserva (%)		
Hidráulica	Eólica	Térmica	Hidráulica	Eólica	Térmica
0,5	0,3	0,9	70,0	19,9	10,0
0,4	0,3	0,9	70,0	19,9	10,0
0,35	0,3	0,9	70,0	19,9	10,0
0,5	0,2	0,9	70,2	19,7	10,0

*Tabla 4-3. Participación en la Reserva rotante según fuente para distintas combinaciones de factores de reserva.*

Con la intención de mantener acotado el volumen de trabajo realizado en el marco del presente proyecto no se analizó la sensibilidad con respecto al Factor de reserva rotante requerido por la demanda.

## 5. Posibles futuros trabajos

### 5.1. Factor de reserva dinámico

Se observó al estudiar la variación diezminutal de la demanda neta, una distinción en la misma según el momento del día y la estación del año. Por ello, se cree relevante realizar un análisis considerando un Factor de reserva dinámico, contemplando la sensibilidad del aporte de energía eólica a la reserva ante variaciones en el Factor de reserva de la demanda.

### 5.2. Confiabilidad de la eólica en la reserva rotante

El estudio de la variabilidad de la demanda tuvo como objetivo estimar qué Factor de reserva rotante debía tener la demanda para que con una cierta confiabilidad no ocurra una falla, como se detalló en la sección 4.1. Sin embargo, no se filtraron los casos en que la energía eólica se encontraba operando bajo restricción operativa. Como consecuencia, se considera como un posible futuro trabajo establecer un margen de confianza para el aporte de la energía eólica a la reserva rotante.

### ***5.3. Análisis de costos de operación ante distintos escenarios.***

Se comparó en la sección 4.2.5 la sensibilidad de la participación de la energía eólica en la Reserva rotante ante distintas combinaciones en los Factores de reserva. Este estudio fue limitado debido a que se encontraba fuera de los objetivos específicos del trabajo. Sin embargo, se sugiere analizar los costos de operación asociados a distintos escenarios de participación de la energía eólica en el mercado de reserva rotante, con una variedad más amplia de restricciones.