

SEMINARIO

# Desarrollo de Mercados de Gas Natural

28 y 29 de octubre de 2015 | Santiago, Chile



arpel 50 ANGE

AUSPICIA

ENAP ENERGÍA QUE MUEVE A CHILE

APOYA

ACERA

CBHE

COMISIÓN DE INTEGRACIÓN ENERGÉTICA REGIONAL

Generadora de Chile A.G. Energía que vive nueva

## Sesión "Optimización de la matriz energética - Complementariedad entre las energías renovables y el gas natural"

### La experiencia uruguaya de desarrollo de energías renovables

Acad. Ing. Oscar Ferreño

Coordinador Internacional de Generación CIER

 COMISIÓN DE INTEGRACIÓN ENERGÉTICA REGIONAL

1

## Situación histórica del parque generador Uruguayo(1)

- Para 1982, Uruguay había culminado su desarrollo hidroeléctrico posible, 1535 MW.
- En años hidroeléctricos medios la producción hidráulica duplicaba la demanda.
- Los acuerdos con Argentina permitieron desarrollar a Salto Grande.
- Se contaba con 330 MW de respaldo térmico.
- Se contaba también con una interconexión con Argentina de potencia superior al pico de demanda.
- La demanda crecía al 3.5% anual (se duplica en 20 años)
- Uruguay era un país eminentemente hidroeléctrico.
- En los años 90 ocurrió una revolución energética en Argentina con precios de Generación Térmica muy baratos, y se tomó la decisión (no explicitada) de que el respaldo térmico uruguayo estuviese en Argentina bajo la forma de Contratos de Potencia con Energía Asociada. No se instaló nueva Generación Térmica.
- La experiencia exitosa de salto Grande avalaba esta decisión.

## Situación histórica del parque generador Uruguayo(2)

- En Uruguay se aprobó y Reglamentó una Ley de Marco Regulatorio Eléctrico similar a la que existía en Argentina para facilitar los intercambios.
- La crisis Argentina de 2001 llevó a que para fines de 2004 cayeran todos los contratos.
- Uruguay tuvo que salir de apuro a resolver sus problemas de respaldo, justo cuando comenzó a subir el precio internacional del petróleo y cuando el crecimiento vegetativo de la demanda ya había absorbido la producción hidroeléctrica media.
- En situación de apuro se realizaron inversiones en Generación Térmica para resolver el déficit de generación y se comenzó a estudiar las posibilidades de las Energías Renovables No Convencionales.
- Se estudió la Biomasa, la Solar Fotovoltaica la Minihidro y la Eólica, pero parecía que Uruguay estaba condenado a ser un país cada vez más térmico.

3

## Situación de la Energía Eólica en el mundo en el año 2005

- Para el año 2005 países como España, Dinamarca y Alemania habían avanzado en la tecnología de Generación Eólica.
- Se comenzaron a comercializar en forma masiva equipos con tecnología de control de potencia por velocidad y paso variable.
- Esta tecnología basada en la electrónica de potencia permite producir energía de buena calidad fácilmente inyectable a la red sin distorsionar el servicio eléctrico y permitió aumentar el tamaño de los equipos aumentando a su vez el potencial eólico de una región.
- En Uruguay se comenzó a relevar el potencial eólico mediante puestos de medición a 100 m de altura en torres de telefonía celular y se observó que el potencial era enorme, a razón de 1 MW cada 30 hectáreas en los 12:000.000 de hectáreas destinados a la ganadería entrarían 400.000 MW.

4

### Licitaciones de ERNC.

- En el año 2007 se realizó una primera licitación para 20 MW de eólica, 20 MW de biomasa y 20 MW de Minihidro.
- En esta subasta se adjudicaba al menor precio y se aseguraba contratos de compra de la energía producida durante 20 años.
- No hubo ofertas de Minihidro y se adjudicaron 20 MW de Eólica a 92 U\$S/MWh y 20 MW de biomasa a 108 U\$S/MWh.
- En paralelo la Empresa Estatal de Energía construyó en Cooperación del Gobierno de España un Parque Eólico de última tecnología, de 20 MW, para analizar el desempeño y la adaptación a los sistemas interconectados de la Generación Eólica.
- Para el 2010 y ante lo satisfactorio de las experiencias realizadas se lanzó una nueva subasta de tres parques eólicos de 50 MW cada uno también con contratos de compra de Energía a 20 años, esta vez el resultado fue de 85 U\$S/MWh.

5

### Licitaciones de Energía Eólica.

- En el año 2011 se repitió la subasta de tres parques eólicos de 50 MW cada uno también con contratos de compra de Energía a 20 años, esta vez el resultado fue de 63 U\$S/MWh. Las ofertas alcanzaban a los 850 MW y las ofertas más caras superaban los 100 U\$S/MWh.
- Cuando el estado se disponía a realizar una nueva subasta, esta vez por 450 MW, los oferentes no adjudicados dijeron estar dispuestos a realizar los parques a el precio de 63 U\$S/MWh.
- Se llamó entonces a adhesión entre los participantes, a contratos a ese precio, y en febrero de 2012 se adjudicaron otros 13 Parques de 50 MW.
- Al mismo tiempo y tomando ese precio como referencia el estado se apostó a construir bajo la forma de sociedades de participación público privada otros 420 MW en la forma de parques de 70 MW.
- También por iniciativa privada se construyeron otros 100 MW que se comercializan al precio marginal del mercado eléctrico uruguayo. (spot).

6

## Situación del Parque Generador de Uruguay al día de hoy.

- Hoy se encuentran operativos más de 800 MW Eólicos y hay más de 600 en construcción que estarán operativos para fines de 2016.
- Hay además unos 120 MW de biomasa (80 MW de cogeneración) y unos 100 MW de fotovoltaica.
- La Generación hidroeléctrica media alcanza al 65% de la demanda.
- Las ERNC alcanzarán para el año 2017 el 40 % de la demanda.
- La Generación Térmica cumplirá una función de respaldo y podrá abastecer el 30 % de la demanda en condiciones de extrema sequía.
- En principio las ERNC están sustituyendo a la Generación Térmica, pero luego podrán cubrir el crecimiento de la demanda que es a razón de 3.5 % anual., y significarán ahora unos 100 MW eólicos por año.

7

## Causas del éxito, de las ERNC en Uruguay, especialmente el caso de la Energía Eólica (1).

Dentro de la reglamentación de la Ley del Mercado Eléctrico mayorista hay un artículo que es fundamental y que tal vez cuando se redactó no se preveía su importancia.

### Decreto 360/2002 - Marco Regulatorio Mercado Eléctrico - Artículo 298

- Si, en virtud de directivas de política energética, se dispone que la compra de parte del suministro de los Participantes Consumidores o de determinado tipo de Participante Consumidor, se cubra con energías renovables no convencionales, se realizará una licitación pública internacional, a fin de adjudicar un Contrato Especial para la instalación de la generación con dichas energías. La licitación se realizará con un modelo de pliego y contrato formulados por el Regulador y bajo su supervisión.
- En el caso de un Distribuidor, el costo de dicho Contrato Especial será considerado trasladable a tarifas.

8

## Causas del éxito, de las ERNC en Uruguay, especialmente el caso de la Energía Eólica (2).

- La madurez tecnológica de los Aerogeneradores en el momento que Uruguay comienza a incursionar en la Generación Eólica.
- Los equipos equipados con control de potencia por velocidad variable y paso variable producen energía de gran calidad que puede introducirse en los sistemas eléctricos sin inconvenientes y reduce los esfuerzos en los equipos, lo que permite aumentar el tamaño de estos y en consecuencia la eficiencia y el aumento de potencial eólico de un sitio.
- Como la velocidad variable se logra con electrónica de potencia también se mejoran los servicios de control de energía reactiva.

9

## Causas del éxito, de las ERNC en Uruguay, especialmente el caso de la Energía Eólica (3).

### La competitividad con la generación en base a combustibles fósiles

Un aerogenerador moderno de velocidad y paso variable, de 2 MW, 100 m de altura de eje y 100 m diámetro tiene un costo de inversión de unos 1:8 U\$S/MW.

Si trabaja a potencia nominal 3500 horas por año (factor de capacidad de 40%) y queremos que se repague en 10 años, el Capex será de:

$$1:800.000 \text{ U\$S/ MW/ } 3500 \text{ h / } 10 = 51.4 \text{ U\$S/MWh}$$

Si agregamos un Opex de 13 ó 14 U\$S/MWh

Esto nos da un costo del MWh del orden de 65 U\$S

La Energía Eólica no tiene costo de combustible por eso tanto el Capex como el Opex (solo O&M en este caso) son una parte muy importante del costo de generación, esto lleva a la necesidad de contratos de largo plazo.

10

## Costos de las Energías Convencionales, el ejemplo del Ciclo Combinado

Un Ciclo Combinado que pueda funcionar tanto con combustibles líquidos como con gas natural tiene un costo de inversión de aproximadamente 1: U\$S/MW

Si trabaja a potencia nominal 7.000 horas por año (factor de capacidad de 80%) y

queremos que se repague en 10 años el Capex será de:

1: U\$S/ MW/ 7000 h /10 = 14.3 U\$S/MWh

Si agregamos un O&M de 2 U\$S/MWh

Esto nos da un costo del MWh sin combustible del orden de 16 U\$S

Por cada dólar que cuesta el MMBTU el costo de generación es de 6.8 U\$S/MWh

Con un precio del barril de petróleo a U\$S 50,

el Gas Oil costaría 12 U\$S/MMBTU -----> el variable sería de 82 U\$S/MWh

para un precio de GNL 8 U\$S/MMBTU -----> el variable sería de 54 U\$S/MWh

Esto nos da un costo actual de entre 70 y 100 U\$S/MWh

Los costos del Ciclo Combinado igualan a la Eólica para un costo de combustible de 7.2 U\$S/MMBTU o un petróleo a 30 U\$S/Barril.

11

## Las causas del éxito, de las ERNC en Uruguay, especialmente el caso de la Energía Eólica (4).

### El complemento con la Generación hidroeléctrica.

- Los fenómenos hidrológicos tienen una frecuencia mucho menor que los fenómenos eólicos.
- Las normas establecen que para evaluar un recurso hidráulico se necesitan treinta años de medida, para evaluar el recurso eólico alcanza con un año.
- Los embalses de las hidroeléctricas las hacen muy confiables en el corto plazo pero poco predecibles en el mediano y largo plazo.
- Los parques eólicos son muy confiables en el mediano y largo plazo pero poco predecibles en el corto plazo.
- Esto las hace intrínsecamente complementarias, lo que aunado a la flexibilidad de operación de las hidroeléctricas convierten a ambas formas de Generación en un matrimonio ideal.

12

## **Las causas del éxito, de las ERNC en Uruguay, especialmente el caso de la Energía Eólica (4).**

### **La “regla de pulgar o de oro” de los sistemas eléctricos.**

- Una regla de pulgar se refiere a una regla sencilla no rigurosa que permite tomar decisiones seguramente acertadas.
- La complementariedad descrita puede establecer una “Regla de Pulgar” que podría decir que “un sistema eléctrico puede soportar sin problemas de gestión tanta potencia eólica como potencia hidráulica tenga instalada”.
- Esta “Regla” se justifica claramente en la capacidad de la Hidráulica de cubrir las variaciones de la Eólica.

13

## **Las causas del éxito, de las ERNC en Uruguay, especialmente el caso de la Energía Eólica (5).**

### **Las ventajas comparativas de Uruguay para la Energía eólica.**

- Gran desarrollo hidroeléctrico.
- Instalación de emergencia de Turbinas de Gas en la crisis de 2004 que unidades de generación son muy flexibles.
- Topografía simple, sin grandes obstáculos como sierras o grandes ciudades.
- Condiciones de viento similar a la de los países que desarrollaron esta tecnología.
- Aplicación de la tecnología en el momento que se alcanzó un grado de madurez adecuado.
- Buenas interconexiones internacionales con Brasil y Argentina.
- Territorio de baja altitud y por lo tanto atmósfera de alta densidad.

14

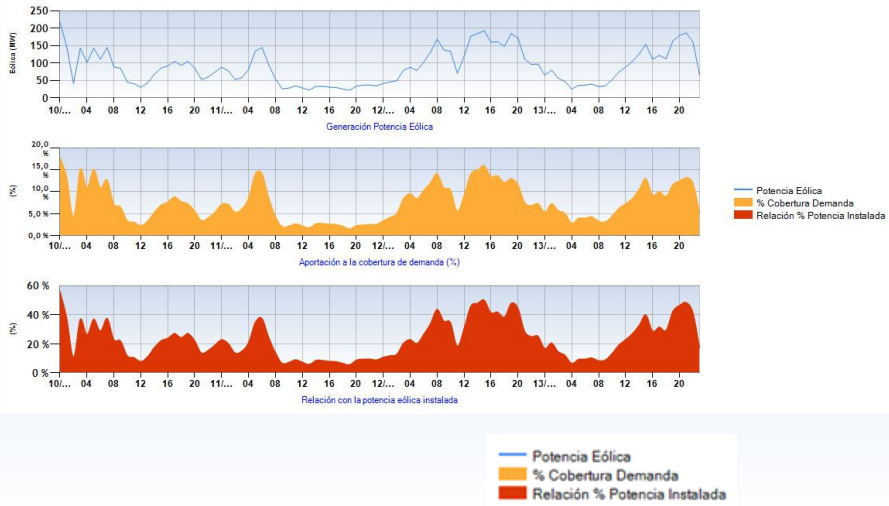
## El problema de la aleatoriedad o variabilidad de la Energía Eólica. Desde el 10/9/14 al 13/9/14



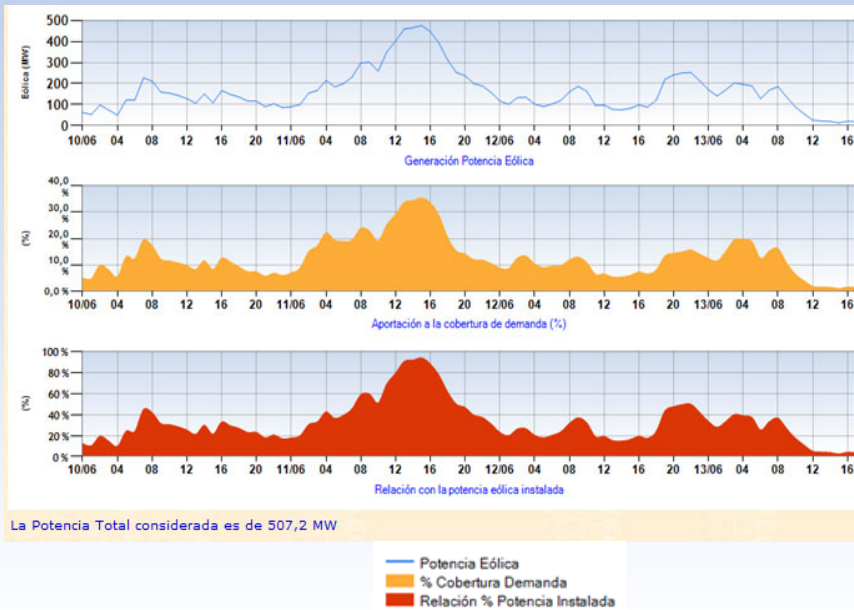
**Módulo Operativo**  
Gráficas de Potencias Instantáneas de Generación Eólica

**SGE**

Fecha Desde 10/09/2014 Fecha Hasta 13/09/2014  Ver Valores  Ver Todo  Ver Detalle Eólico

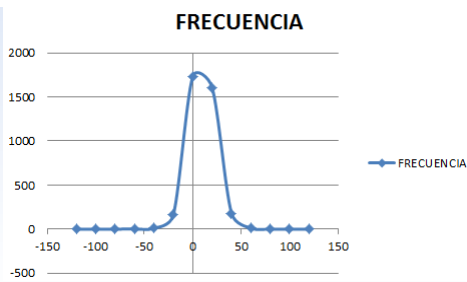
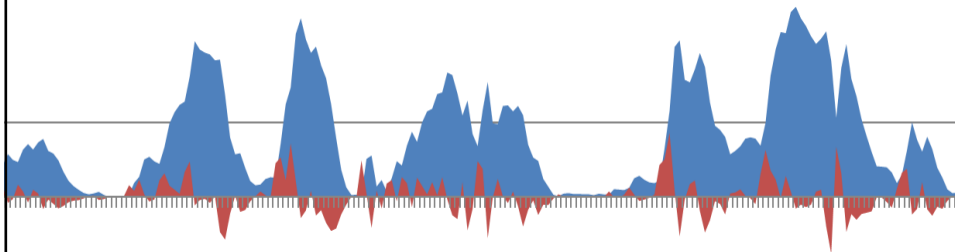


## Desde el 11/6/15 al 13/6/15



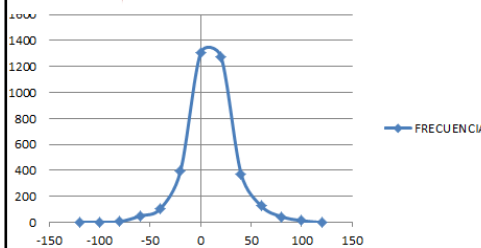
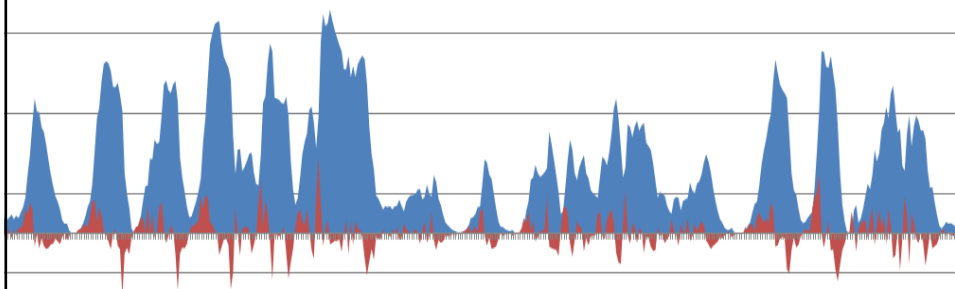


Diferencias horarias, entre el 1/1 y el 7/6/2015 (3768 horas)  
 Parques: Maldonado, Minas, Caracoles, Kentiluz , Nuevo  
 Manantial y Libertad, total 157 MW



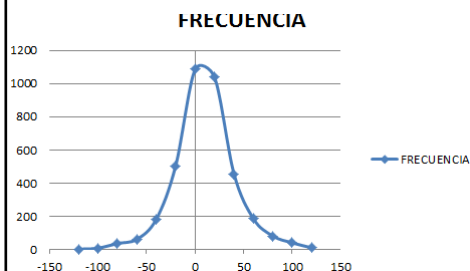
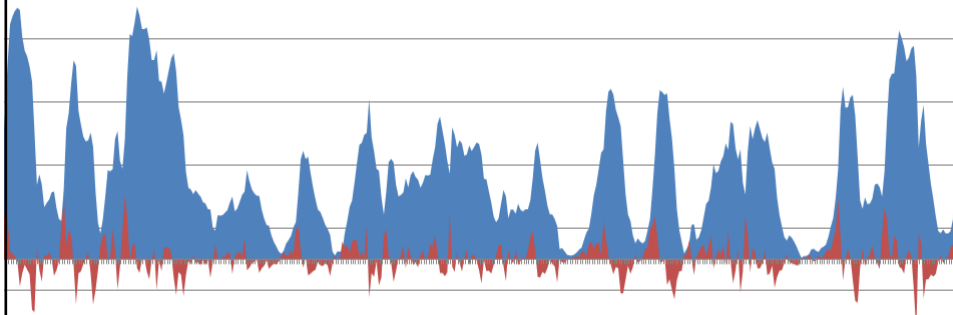
<b>POTENCIA (MW)</b>	<b>157</b>
<b>MÁXIMO Delta (MW)</b>	<b>47</b>
<b>MÍNIMO Delta (MW)</b>	<b>-68</b>

Diferencias horarias, entre el 1/1 y el 7/6/2015 (3768 horas)  
 Agregamos los Parques: Artilleros, Pintado, Minas y Florida,  
 total 352 MW



<b>POTENCIA (MW)</b>	<b>352</b>
<b>MÁXIMO Delta (MW)</b>	<b>98</b>
<b>MÍNIMO Delta (MW)</b>	<b>-133</b>

Diferencias horarias, entre el 1/1 y el 7/6/2015 (3768 horas)  
 Agregamos los Parques: J. P. Terra, Peralta y Cadonal, total 519 MW



**POTENCIA (MW) 519**  
**MÁXIMO Delta (MW) 121**  
**MÍNIMO Delta (MW) -136**

### Matriz Eléctrica Uruguay en 2015 Acumulado año móvil en MW

COMPOSICIÓN ENERGÉTICA DE URUGUAY POR FUENTE		
Concepto	Acumulado	
	26/10/2014 - 25/10/2015	26/10/2014 - 25/10/2015 (%)
Generación Hidráulica	8.025.852	76,47 %
Generación Eólica	1.806.035	17,21 %
Generación Biomasa	833.277	7,94 %
Generación Fotovoltaica	21.051	0,20 %
Generación Térmica	923.882	8,80 %
<b>Energía Producida en Uruguay Entregada al S.I.N.</b>	<b>11.610.097</b>	
Importación U.T.E.	0	0,00 %
Exportación U.T.E.	876.576	-8,35 %
Exportación de SG. a Arg.	196.975	-1,88 %
Consumos de Generación	41.220	-0,39 %
<b>Energía Sumnistrada al S.I.N.</b>	<b>10.495.326</b>	<b>100,00 %</b>

## Valores Máximos de Potencia año 2015

DEMANDA							
Potencia Máxima							
del Día		del Mes			del Año		
Hora	Valor (MW)	Fecha	Hora	Valor (MW)	Fecha	Hora	Valor (MW)
20:54	1.375	02/10/2015	20:43	1.612	21/07/2015	20:50	1.883
El máximo de la demanda histórica fue 22/07/2013 MW el día 1.918 a la hora 20:26.							
POTENCIAS EÓLICAS (Horas en punto)							
Potencia Máxima							
del Día		del Mes			del Año		
Hora	Valor (MW)	Fecha	Hora	Valor (MW)	Fecha	Hora	Valor (MW)
07:00	631,3	09/10/2015	18:00	690	09/10/2015	18:00	690
PORCENTAJE MÁXIMO DE PARTICIPACIÓN EN EL AÑO				Fecha	Hora	Porcentaje	
de Potencia de Generación Eólica				25/10/2015	07:00	82,89 %	
de Energía de Generación Eólica				09/10/2015	--	54,61 %	

21

## El verdadero problema de las ERNC

- Las ERNC son intermitentes o al menos intrínsecamente variables y aleatorias.
- No están cuando el mercado las demanda sino cuando la naturaleza del recurso lo determina, por lo que no son gestionables.
- Su variación en minutos puede ser mayor que la variación de la demanda y puede ir en el mismo sentido o en el contrario
- Su factor de capacidad es una fracción de la potencia instalada.
- Necesariamente deben ser completadas por generadores muy gestionables y muy versátiles.
- Es en este aspecto que las turbinas y los motores a gas son el complemento ideal para las ERNC-

22

## Características que debe tener una unidad de generación para ayudar a gestionar las ERNC

- Debe tener bajas emisiones de efecto invernadero.
- Debe soportar arranques, paradas y variaciones de carga rápida sin sufrir desgaste.
- Los motores reciprocantes y las turbinas (especialmente las aeroderivadas) a gas cumplen perfectamente con estas características.
- Tienen baja inercia térmica, están diseñados para trabajar con temperaturas y cargas diferentes.
- Son de baja potencia relativa
- Los mismos atributos que los han hecho triunfar en el mercado aeronáutico y automotriz a pesar de promesas de otras tecnologías los llevan a ser los complementos ideales para las ERNC.

## CONSIDERACIONES FINALES

### Comprobaciones

- Elevado potencial energético de Energías Renovables en América Latina
- Alta tasa de crecimiento de la demanda de energía en Sudamérica
- Incremento en la seguridad del suministro del abastecimiento energético con la incorporación de las nuevas renovables
- Gran potencial de gas natural en la región
- Los motores y las turbinas de gas son el complemento ideal para gestionar las ERNC

### Recomendaciones

- Promover la integración regional tanto eléctrica como de gasoductos
- Promover la difusión del conocimiento sobre la aplicación de las nuevas renovables y la forma de gestionarlas mediante motores y turbinas a gas
- Evaluar el potencial de las fuentes de energía
- Desarrollar mecanismos de inserción comercial
- Desarrollar marcos regulatorios que promuevan la inversión
- Identificar y mitigar las barreras



COMISIÓN DE INTEGRACIÓN  
ENERGÉTICA REGIONAL

