

# LECCIONES APRENDIDAS EN LA TRANSICIÓN HACIA UNA MATRIZ ENERGÉTICA RENOVABLE DE URUGUAY

Oscar Ferreño, Director de Relaciones Institucionales & Regulación Ventus Internacional

# COMPOSICIÓN MATRIZ ELÉCTRICA DE URUGUAY EN LOS AÑOS 2009 Y 2018

Año	2009	2018
Total del sistema	9.000 GWh	11.180 GWh
Hidro	55%	55%
Eólica	0,5%	42%
Biomasa	2%	7%
FV	0%	3,5%
Turbo vapor	8,8%	0%
Turbo gas	20,2%	3%
Exportación	2,5%	10,5%
Importación	16%	0%
Total	100%	100%

#### TRANSFORMACIÓN DE LA MATRIZ URUGUAYA

- Durante este cambio de matriz surgió Ventus, lo que permitió a sus fundadores ser testigos privilegiados de esta transformación.
- Una primera aproximación permite establecer que cambiar una matriz no es simplemente cambiar tecnologías convencionales por no convencionales, sino que se debe hacer un abordaje sistémico de la problemática.
- Esto porque las Energías Renovables no Convencionales (ERNC) tienen características muy diferentes a las Convencionales.



#### LA ENERGÍA EN AMÉRICA LATINA

- América Latina es un área muy rica desde el punto de vista energético, con abundancia de generación hidroeléctrica y con grandes reservas de combustibles fósiles.
- Sin embargo, esta riqueza no está distribuida uniformemente en la región, lo que lleva a que cada país busque la solución más adecuada para resolver el problema energético.
- Si bien es cierto que hay una concientización generalizada de los problemas de cambio climático asociados a la quema de combustibles fósiles, la realidad es que, como siempre, son las necesidades económicas de corto y mediano plazo las que constituyen el motor de los cambios tecnológicos.
- Los compromisos surgidos de los Acuerdos de Paris, son catalizadores para el desarrollo de los cambios. Sin embargo hay mitos y desafíos que enfrentar.



#### LA ENERGÍA EN AMÉRICA LATINA

- La ERNC (principalmente eólica y solar) no son firmes en el sentido tradicional porque no puede garantizar la potencia en las horas de pico, pero sí son confiable en el mediano plazo.
- Esta característica, que es opuesta a la de la hidroeléctrica tradicional hace que el matrimonio Eólico o SFV con hidráulicas sea una combinación ideal que brinda potencia, confiabilidad y energía firme.
- El gran desarrollo hidroeléctrico de la región garantiza un gran desarrollo eólico.
- El pequeño Uruguay, con 180.000 km2 y solo 3,5 millones de habitantes, tiene una carencia total de combustibles fósiles y un mercado eléctrico de poco más de 11.000 GWh anuales, es un buen ejemplo de lo que puede ser el futuro de América Latina.



### CONTEXTO HISTÓRICO DE URUGUAY

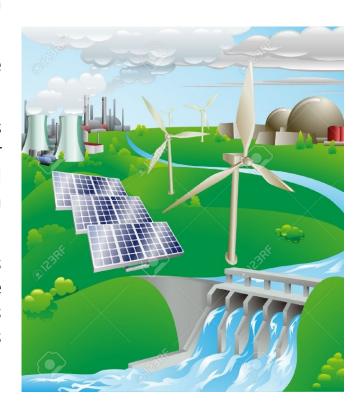
- Para 1982 Uruguay había culminado su desarrollo hidroeléctrico posible con 1.535 MW.
- En años hidroeléctricos medios la producción hidráulica duplicaba la demanda. Su desarrollo hidroeléctrico tuvo como socio a la Argentina.
- Se contaba con 330 MW de respaldo térmico.
- Se contaba también con una 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 bajos y se tomó la decisión (no explícita) 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.





#### CONTEXTO HISTÓRICO DE URUGUAY

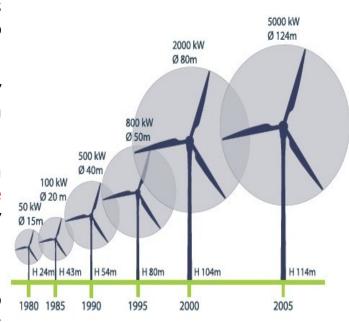
- En Uruguay se aprobó y reglamentó una Ley de Marco Regulatorio Eléctrico similar a la que existía en Argentina para facilitar los intercambios.
- La crisis Argentina de 2001 llevó a que para fines de 2004 cayeran todos los contratos.
- Uruguay tuvo que salir de apuro a resolver sus problemas de respaldo, 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 emergencia 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 (ERNC).
- 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.



### CONTEXTO HISTÓRICO DE URUGUAY

La situación de la Energía Eólica en el mundo en el año 2005, cuando Uruguay tuvo su crisis energética

- Se comenzaban a comercializar en forma masiva equipos con tecnología de control de potencia por velocidad y paso variable.
- Para el año 2005 países como España, Dinamarca y Alemania habían avanzado en la tecnología de Generación Eólica.
- 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 cabrían 400.000 MW.



## URUGUAY LICITACIONES DE ENERGÍAS RENOVABLES NO TRADICIONALES

- En el año 2007 se realizó una primera licitación para 20 MW de eólica, 20 MW de biomasa y 20 MW de Minihidro.
- 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.



## URUGUAY LICITACIONES DE ENERGÍAS RENOVABLES NO TRADICIONALES

- 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 los 850 MW y las 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 al precio de 63 U\$S/MWh.
- Se llamó entonces a la 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 aprestó a construir, bajo la forma de sociedades de participación público privada, otros 420 MW en forma de parques de 70 MW.



### SITUACIÓN DEL PARQUE GENERADOR DE URUGUAY AL DÍA DE HOY

- Hoy se encuentran operativos casi 1484 MW Eólicos.
- Hay además unos 250 MW de Biomasa (200 MW de cogeneración) y unos 230 MW de Fotovoltaica.
- La generación Hidroeléctrica media alcanza al 60% de la demanda.
- Las ERNC alcanzan 53 % de la demanda.
- En años hidrológicamente medios se exporta un 13 % de la demanda.
- La Generación Térmica (1150 MW) cumple una función de respaldo y podrá abastecer el 25 % de la demanda en un año con condiciones de extrema sequía.
- En principio, las ERNC han sustituido a la Generación Térmica, pero luego podrán cubrir el crecimiento de la demanda.



#### 1. Reglamentación

- Dentro de la reglamentación de la Ley del Mercado Eléctrico Mayorista hay un artículo que es fundamental y que seguramente al redactarse 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.

#### 2. Tecnología

- La madurez tecnológica de los Aerogeneradores y de la Solar fotovoltaica en el momento que Uruguay comienza a incursionar en la Generación Eólica y FV.
- Los aerogeneradores 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 por lo tanto significan un 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.
- Los inversores de C.C. a C.A. que equipan a los aerogeneradores modernos y a las plantas FV producen energía de gran calidad.

#### 3. El complemento con la generación hidroeléctrica.

- Los fenómenos hidrológicos tienen una frecuencia mucho menor que los fenómenos eólicos.
- 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 y solares 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.
- La complementariedad descripta puede establecer una "Regla de Pulgar" que podría decir que "un sistema eléctrico puede soportar sin problemas de gestión tanta ERNC como potencia hidráulica tenga instalada".
- Esta "Regla" se justifica claramente en la capacidad de la Hidráulica de cubrir las variaciones de las ERNC.

La experiencia a escala industrial de Uruguay en ERNC comenzó en 2005, en plena crisis energética y cuando el Directorio de la UTE le encomendó a la Gerencia de Generación analizar las posibilidades de instalar un parque eólico de 10 MW.

La realización de este parque trajo aparejado el descubrimiento del desarrollo europeo en estas tecnologías, en particular España y el hecho que la generación eólica se adaptaba muy bien a las necesidades energéticas de Uruguay.

Este éxito de las ERNC en Uruguay no siempre se percibió de igual manera y al comienzo había ciertos mitos que vaticinaban que las ERNC tendrían un papel marginal en el sistema Uruguayo.

Se decía "no pretendemos que sea la solución a los problemas energéticos de Uruguay pero si que colabore a resolverlos".

Esto motivó la caída de algunos mitos sobre las ERNC

Existe hallazgos que la experiencia de Uruguay de alta penetración de ERNC ha podido revelar y que pueden ser inéditos a nivel mundial, en particular se observa la caída de algunos mitos:

- 1. Que la energía producida es de mala calidad y solo puede introducirse en forma parcial o marginal.
- 2. Que se trata de una forma de generación muy costosa.
- 3. Que las variaciones de potencia horaria son muy bruscas y la hacen ingobernable. Se las mal **llama intermitentes**, cuando son **variables persistentes**.
- 4. Que siempre precisan gran cantidad de respaldo firme. Por cada MW eólico que se instale es necesario instalar un MW térmico y de funcionamiento muy flexible (como ser turbinas de gas y o motores).
- 5. Que consumen gran cantidad de redes de transmisión. Como sus factores de capacidad oscilan entre 20 y 50 % las redes eléctricas no se utilizan en forma eficiente.

### 1. Que la energía producida es de mala calidad y solo puede introducirse en forma parcial o marginal.

Al principio, tanto la eólica como la solar respondían en forma lineal a las variaciones del recurso, lo que producía variaciones bruscas de la producción, esto sometía a los equipos a esfuerzos bruscos y también afectaba la calidad de la producción.

El avance de la electrónica de potencia permitió el uso de aerogeneradores de velocidad variable que filtran las variaciones bruscas del recurso eólico a través de variaciones de la energía cinética almacenada en las partes rotativas, esto mejora la calidad de la energía producida y reduce esfuerzos en la parte mecánica de la máquina.

De manera similar la electrónica de potencia permite dejar variar la temperatura de los paneles para filtrar las variaciones del recurso solar.

#### 2. Que se trata de una forma de generación muy costosa.

Tanto los aerogeneradores como los paneles fotovoltaicos tienen un gran y costoso trabajo de investigación y desarrollos.

Sin embargo se componen de materiales comunes, no hay piezas sometidas a muy altas temperaturas.

Si se desagregan los costos de producción vemos que la mayor incidencia se presenta en I.D., por lo tanto a masificarse su producción el Capex de la eólica y la F.V. bajan en forma sustancial.

Como el Opex es muy bajo, los contratos de largo plazo llevan a costos L.C.O.E. muy competitivos.

3. Que las variaciones de potencia horaria son muy bruscas y la hacen ingobernable.

Se las mal llama intermitentes, cuando son variables persistentes.

Esto sería cierto si los parques estuvieran concentrados en un punto, pero lo cierto es que las nubes y el viento no son de generación espontánea sino que avanzan en forma de ondas.

La realidad es que debido a la dispersión geográfica del recurso, la mayor probabilidad de producción esperada de un parque para la siguiente hora es la producción de la hora anterior.

.

4. Que siempre precisan gran cantidad de respaldo firme. Por cada MW eólico que se instale es necesario instalar un MW térmico y de funcionamiento muy flexible (como ser turbinas de gas y o motores).

Si bien las ERNC no poseen firmeza en si mismo, ya que no pueden responder a un requerimiento del Despacho de Carga, al tener un costo variable muy bajo cuando hay recurso desplazan a las fuentes convencionales.

Esto hace que las convencionales se conserven para cuando el recurso variable no está disponible, en definitiva mejoran la confiabilidad del sistema y **reducen la necesidad de potencia firme del sistema.** 

5. Que consumen gran cantidad de redes de transmisión. Como sus factores de capacidad oscilan entre 20 y 50 % las redes eléctricas no se utilizan en forma eficiente.

Existe una complementariedad entre la eólica y la solar FV.

En general problemas de estabilidad de la capa límite hacen que el recurso eólico sea mayor en la noche, esto permite aprovechar mejor las redes de transmisión.

Por otra parte siempre se puede recurrir a la "cargabilidad dinámica" de redes eléctricas. Como veremos más adelante.

#### CÓMO ADAPTAR LOS MERCADOS ELÉCTRICOS A LAS ERNC

- Como todo Mercado, el Eléctrico tiene una oferta y una demanda.
- La característica singular es que instante a instante la demanda tiene que ser igual a la oferta, esto implica que debe haber un director de despacho (el centro de control del sistema) que debe ordenar las unidades de generación en orden de costos de producción para satisfacer la demanda.
- La demanda presenta variaciones instante a instante con ciclos diarios, semanales y mensuales, y el Director de Despacho debe prever estas variaciones para cubrirlas adecuadamente.
- Las unidades Convencionales son ordenables (despachables), en cambio las ERNC principales (eólica y FV) están diseñadas para obtener instante a instante la mayor energía posible de acuerdo a la disponibilidad instantánea del recurso.
- Esto las hace no despachables a menos que la asociemos a baterías de acumulación de energía, sociedad que por el momento no es económicamente competitiva.

### CÓMO ADAPTAR LOS MERCADOS ELÉCTRICOS A LAS ERNC

- Esto hace que el Director de Despacho deba considerar a las ERNC como una "demanda negativa".
- Ahora debe cubrir una "demanda neta" resultante de restar a la producción de las ERNC de la demanda real y la debe cubrir con unidades convencionales (despachables).
- Así como el despachante debe prever la demanda, debe ahora también prever la generación de ERNC.
- La previsión de producción individual por cada parque tiene mucha más incertidumbre que para el conjunto de parques.



#### CÓMO ADAPTAR LOS MERCADOS ELÉCTRICOS A LAS ERNC

- Habrá momentos en las variaciones de la demanda y de las ERNC vayan en el mismo sentido lo que disminuye las variaciones de la demanda neta, pero habrá momentos en que las variaciones se superponen.
- Es por eso que la integración de ERNC exige más flexibilidad a las Convencionales.
- En general las Grandes hidroeléctricas son muy flexibles y las convierten en los mejores socios para integrar ERNC. Se suele decir que se puede introducir al sistema sin problemas de gestión tanta ERNC como Hidráulica exista.

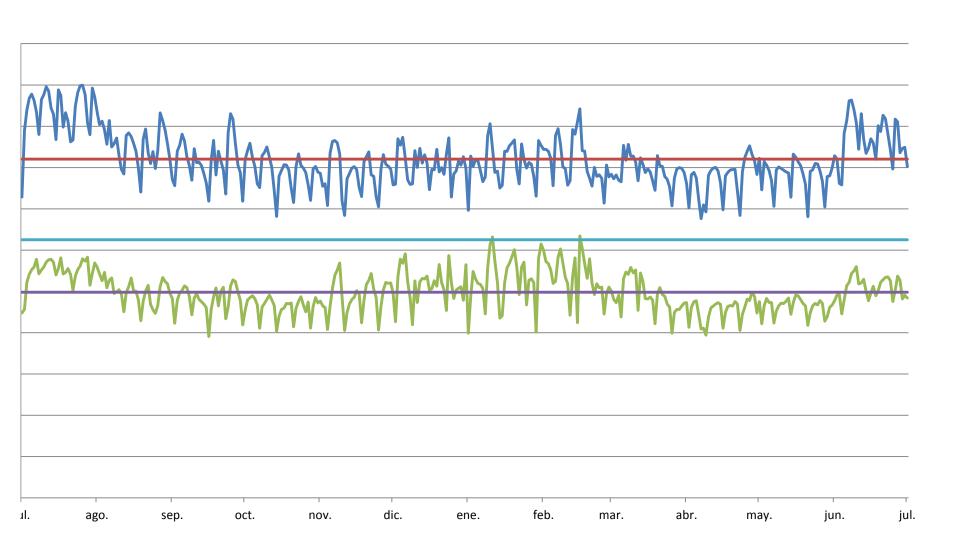


- En cambio, las térmicas más económicas como las grandes unidades de turbovapor que funcionan con combustibles pesados son las menos flexibles.
- Las térmicas que presentan más flexibilidad son los motores y las unidades de turbogas que funcionan con combustibles livianos.
- Es por eso que un futuro 100% renovable es alcanzable para cuando se desarrollen en forma competitiva los sistemas de almacenamiento, mientras tanto el puente para transitar ese camino es el gas natural.

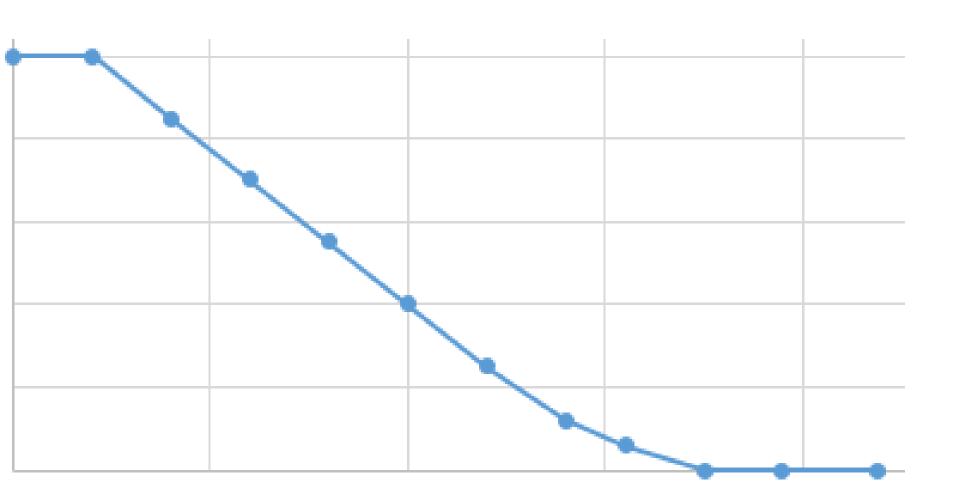


#### **VARIACIONES DE LA DEMANDA**

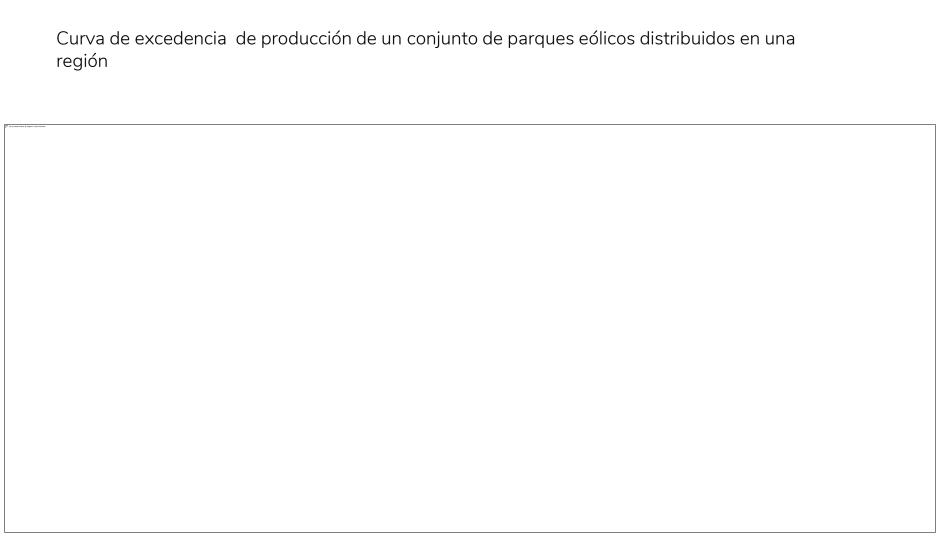
Potencia máx - med - mín de un sistema eléctrico



# CURVA DE EXCEDENCIA DE PRODUCCIÓN DE UN PARQUE EÓLICO



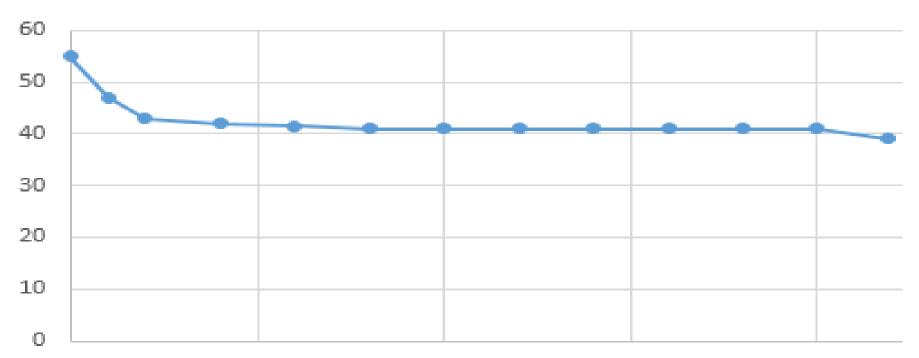
#### **CURVA DE EXCEDENCIA**



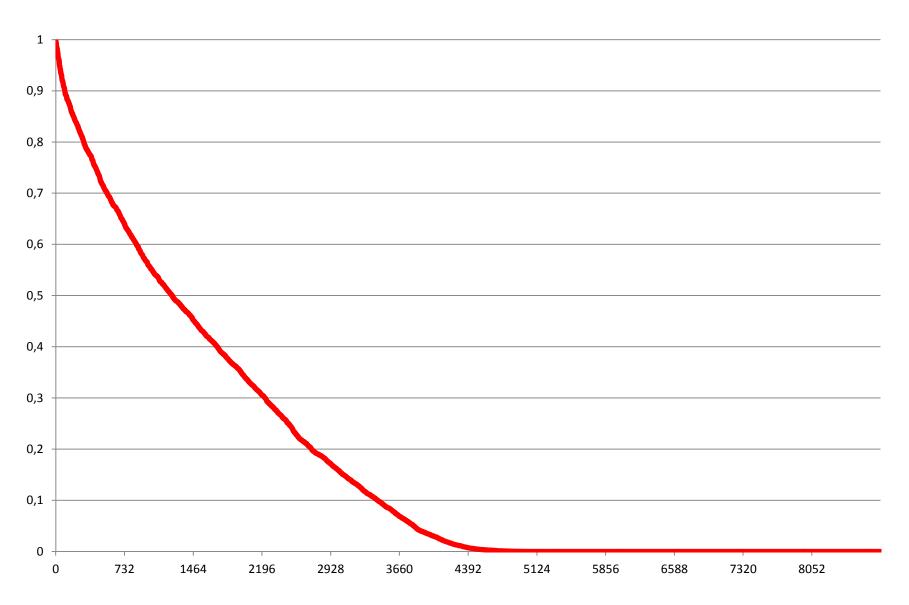
#### **CURVA DE EXCEDENCIA**

Curva de excedencia de producción de un conjunto de parques eólicos distribuidos en una región de tamaño continental

#### Curva de Excedencias, parques distribuidos en el continente



## CURVA DE EXCEDENCIA DE PARQUE SOLAR DISTRIBUIDO

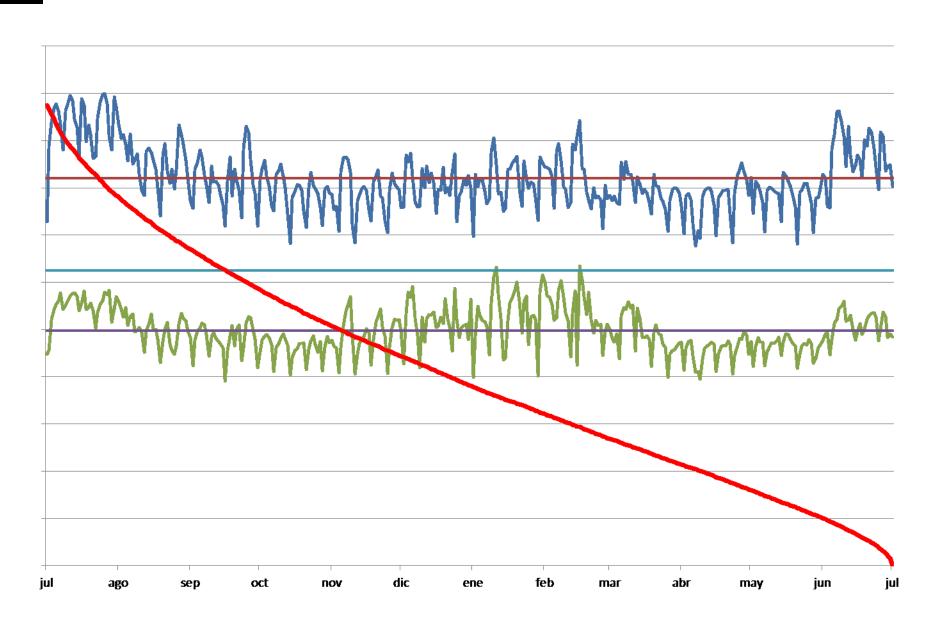


#### **CURVA DE EXCEDENCIA**

- A medida que los parques eólicos y solares se distribuyen en una región aumenta la uniformidad de su producción.
- Esto significa que la confiabilidad de un conjunto de parques es mucho mayor si lo analizamos en su conjunto que si lo analizamos en forma unitaria.
- Lo mismo ocurre con la previsión de producción.
- Aunque se le pida a los generadores los valores de confiabilidad y previsión el despachante tiene que hacer estudios sistémicos.



### CÓMO SE INTEGRAN LAS ERNC A LA DEMANDA DEL MERCADO



## CUANTO PENETRACIÓN DE ERNC ADMITE UN SISTEMA ELÉCTRICO

- En general el factor de capacidad de la eólica estará por debajo del 50% y el de la FV por debajo del 25%.
- Si no hay almacenamiento y no queremos que haya "derrame" de ERNC no podremos instalar más MW de ERNC que la potencia media del sistema.
- Esto en Colombia es del orden de 8000 MW
  y la penetración máxima sería del orden de 40
  %, lo que está muy bien si tenemos en cuenta
  que hoy las grandes hidroeléctricas superan el
  60 %.
- Es decir perfectamente es alcanzable en el corto plazo una Colombia 100 % renovable aún sin contar con mucho almacenamiento.



## DIFERENCIAS DE CAPEX Y OPEX ENTRE LAS ERNC Y LAS CONVENCIONALES

- Las ERNC tienen un Capex mucho mayor que las convencionales fósiles, (entre 5 ó 6 veces para la eólica y 4 veces para la FV), por el contrario, como las hidroeléctricas el Opex de las ERNC es muy pequeño.
- Esto lleva a la necesidad de contratos de largo plazo para rentabilizar a las ERNC.
- En los Mercados Eléctricos los contratos de largo plazo tienen la incertidumbre.



## ¿QUÉ HIZO URUGUAY PARA RESOLVER ESTE PROBLEMA?

- Dentro de la reglamentación de la Ley del Mercado Eléctrico Mayorista hay un artículo que es fundamental y que seguramente al redactarse 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.



#### EL PROBLEMA DE LA TRANSMISIÓN ELÉCTRICA

- Uno de los problemas que enfrentó Uruguay fue la llamada saturación de la transmisión.
- En el año 2009 si se tenía en cuenta los valores de diseño de las líneas aéreas de transporte, había capacidad para unos 500 MW eólicos.
- Sin embargo, si se tiene en cuenta el limite térmico de los conductores se observará que cuando los parques eólicos operan, las líneas de transmisión duplican su capacidad de diseño debido al efecto refrigerante del viento sobre las líneas aéreas.
- En Uruguay se aplicó un sistema de operación de redes por cargabilidad dinámica y se instalaron 1500 MW eólicos sin obras de transmisión troncales.

#### PAUTAS PARA LA TRANSICIÓN EXITOSA HACIA UNA MATRIZ RENOVABLE

- Las ERNC requieren contratos especiales de largo plazo (de al menos 15 años), trasladables a tarifa.
- Las ERNC están diseñadas para sacar el máximo provecho del recurso, por lo tanto no se les debe exigir servicios auxiliares que requieran que estén limitadas en su producción (corrección de baja frecuencia).
- No se debería exigir compromisos diarios de generación ni energía mínima a producir. Se las debe considerar en su conjunto y no en forma unitaria. Es decir, el operador del sistema debe hacer estudios sistémicos de la previsión de producción en el corto plazo y de la confiabilidad en el mediano plazo.



#### PAUTAS PARA LA TRANSICIÓN EXITOSA HACIA UNA MATRIZ RENOVABLE

- El análisis de su aporte de confiabilidad al Sistema debe ser Sistémico y no Unitario.
- Las Convencionales que acompañen la transición deben ser flexibles.
- El operador del sistema de transmisión debería aplicar criterios de cargabilidad dinámica de las redes.
- Con estas pautas seguramente Colombia podrá hacer su transición energética en forma rápida y exitosa.



### ¡MUCHAS GRACIAS!

Por consultas puede escribir a info@ventusenergia.com