

Integración de energías renovables en el Sistema Interconectado Nacional-SIN

Subdirección de Energía Eléctrica
Unidad de Planeación Minero Energética

Bogotá, Marzo 2016

Agenda

- **Plan de Expansión en Generación**
 - ✓ Escenarios Largo Plazo
 - ✓ Índices de desempeño
- **Ubicación del recurso-caso eólico península Guajira**
- **Análisis energéticos**
- **Metodología emplazamiento subestación(es) Colectora(s)**
- **Análisis eléctricos-desarrollo de red**
- **Evaluación económica**
- **Retos asociados a la operación y administración del mercado con la incorporación de energías renovables**
- **Ajustes regulatorios**

Agenda

- **Plan de Expansión en Generación**

- ✓ Escenarios Largo Plazo
- ✓ Índices de desempeño

- Ubicación del recurso-caso eólico península Guajira

- Análisis energéticos

- Metodología emplazamiento subestación(es) Colectora(s)

- Análisis eléctricos-desarrollo de red

- Evaluación económica

- Retos asociados a la operación y administración del mercado con la incorporación de energías renovables

- Ajustes regulatorios

Agenda

- **Plan de Expansión en Generación**

- ✓ Escenarios Largo Plazo
- ✓ Índices de desempeño

- Ubicación del recurso-caso eólico península Guajira

- Análisis energéticos

- Metodología emplazamiento subestación(es) Colectora(s)

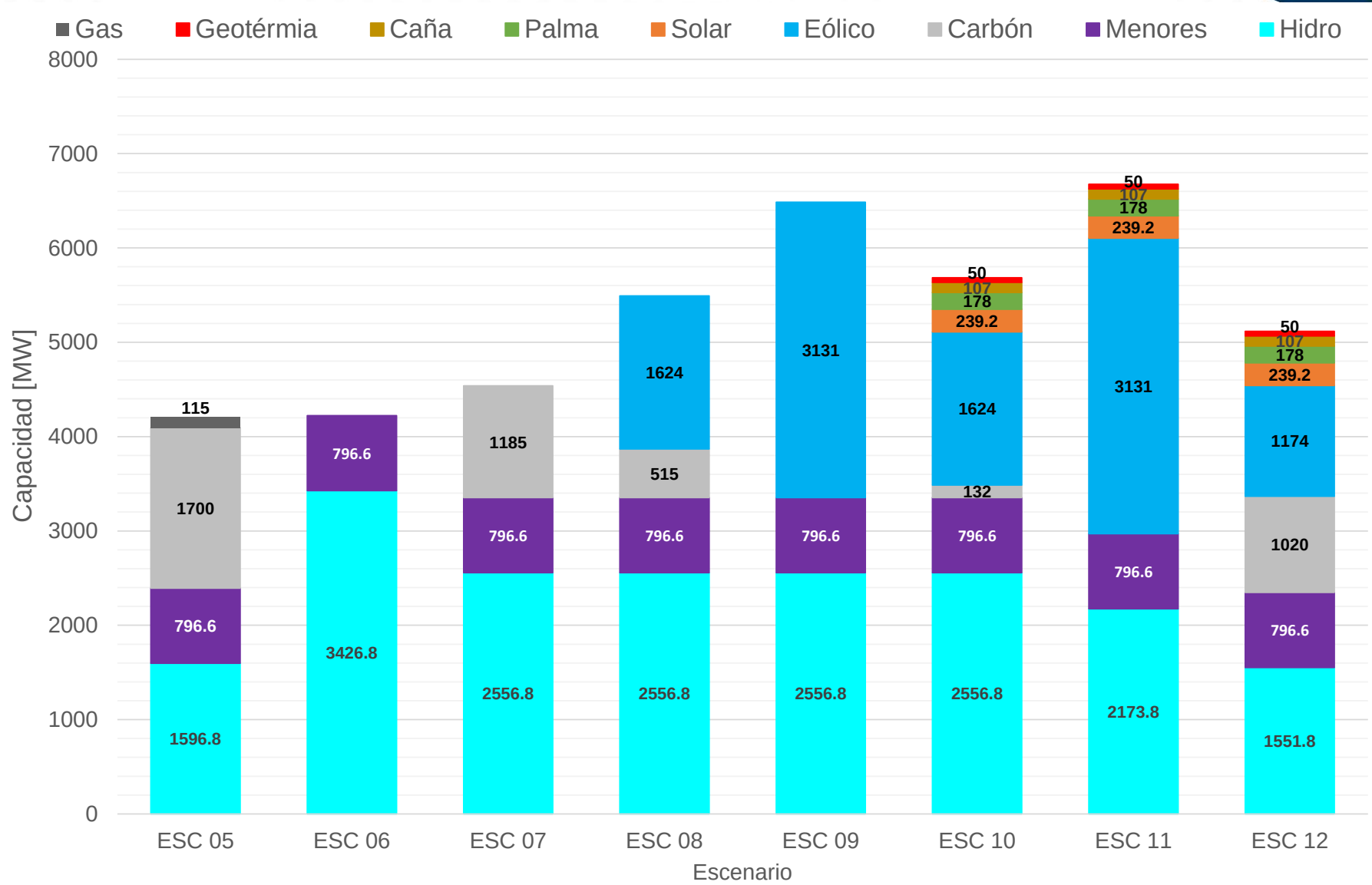
- Análisis eléctricos-desarrollo de red

- Evaluación económica

- Retos asociados a la operación y administración del mercado con la incorporación de energías renovables

- Ajustes regulatorios

Escenarios Largo Plazo



Agenda

- **Plan de Expansión en Generación**

- ✓ Escenarios Largo Plazo
- ✓ Índices de desempeño

- Ubicación del recurso-caso eólico península Guajira

- Análisis energéticos

- Metodología emplazamiento subestación(es) Colectora(s)

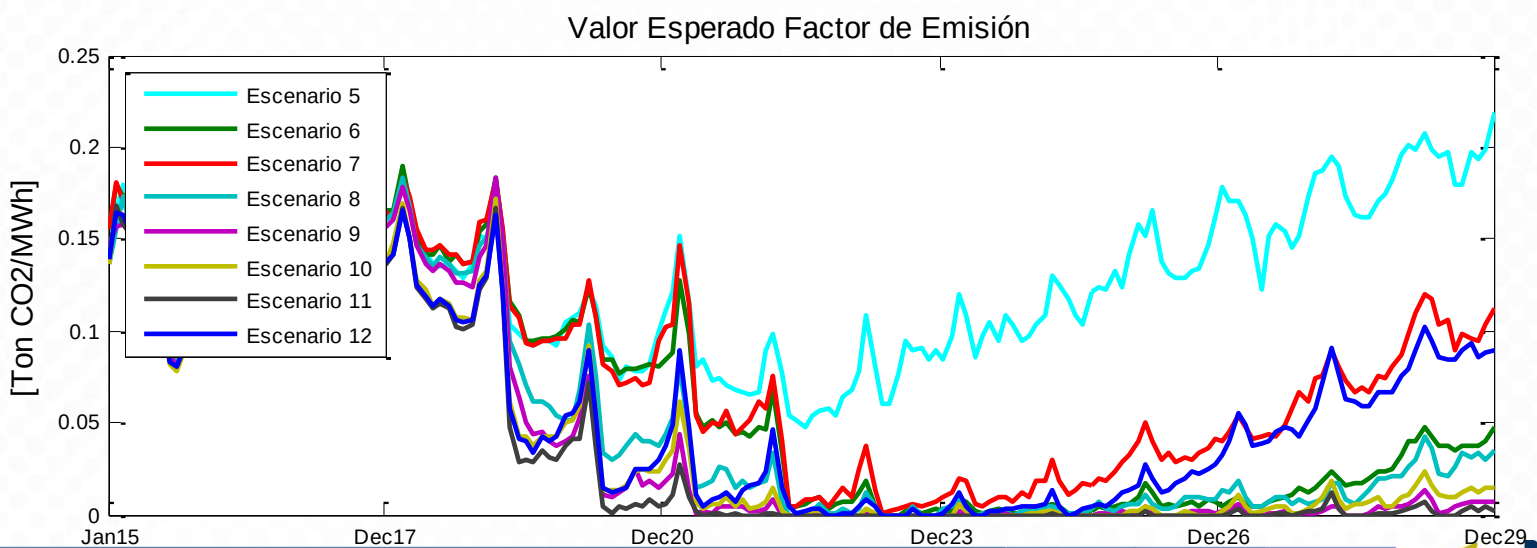
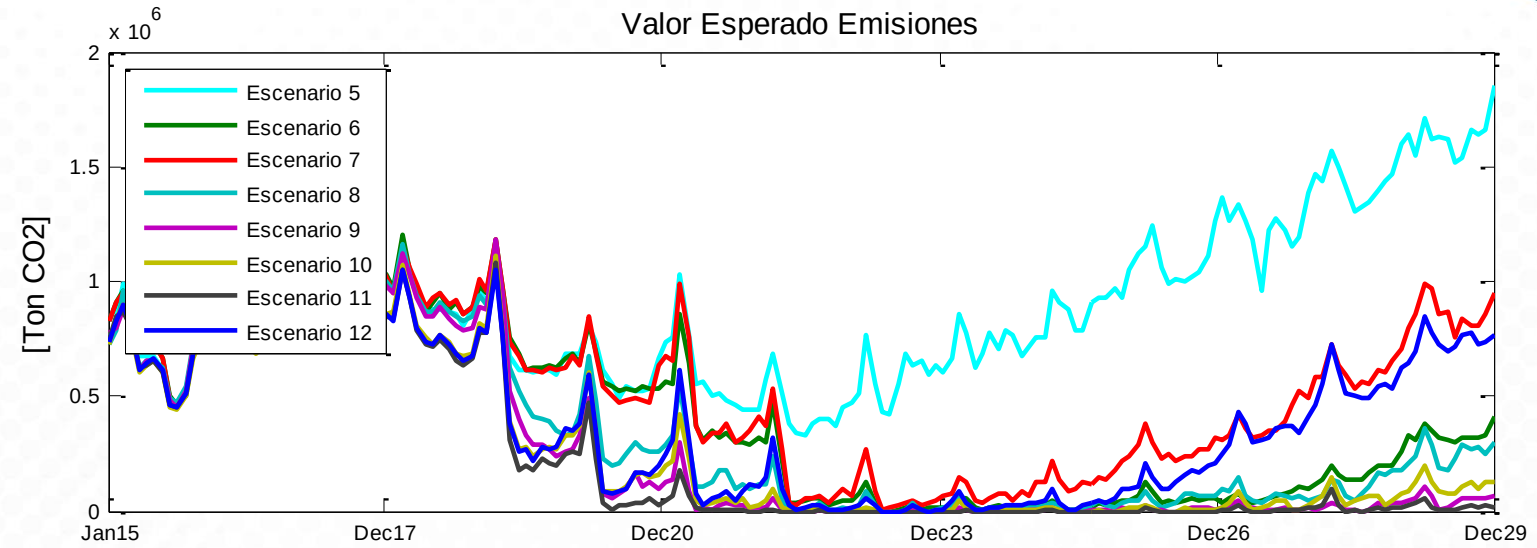
- Análisis eléctricos-desarrollo de red

- Evaluación económica

- Retos asociados a la operación y administración del mercado con la incorporación de energías renovables

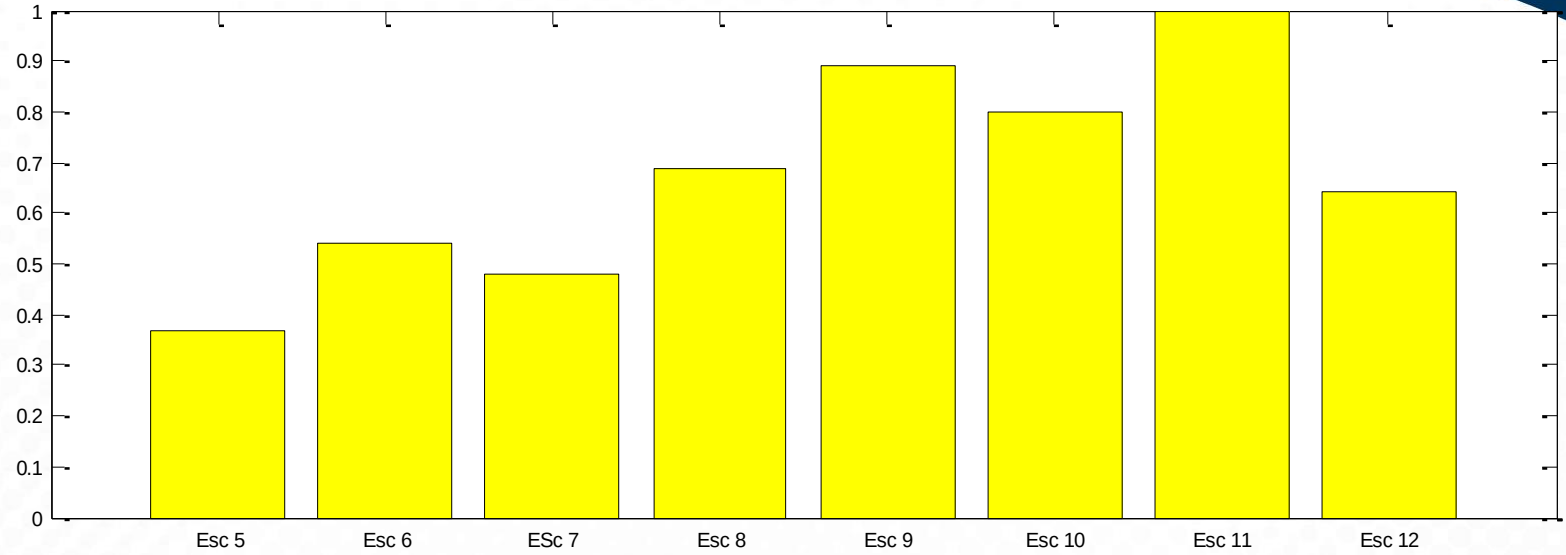
- Ajustes regulatorios

Índices de desempeño

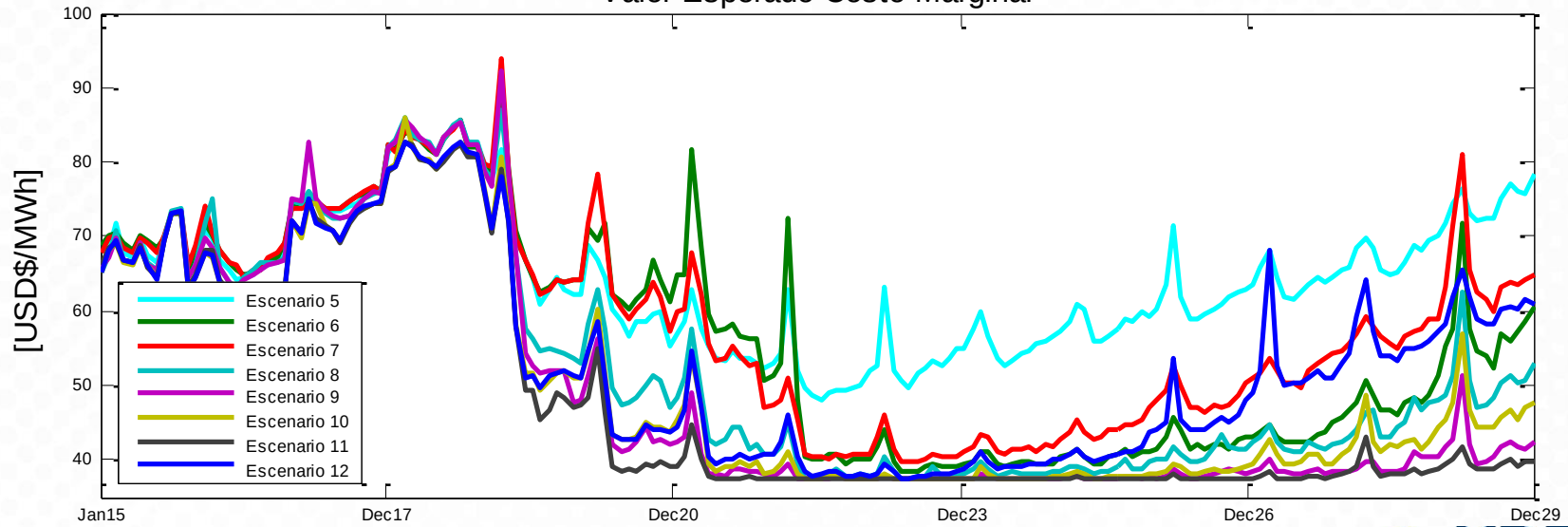


Índices de desempeño

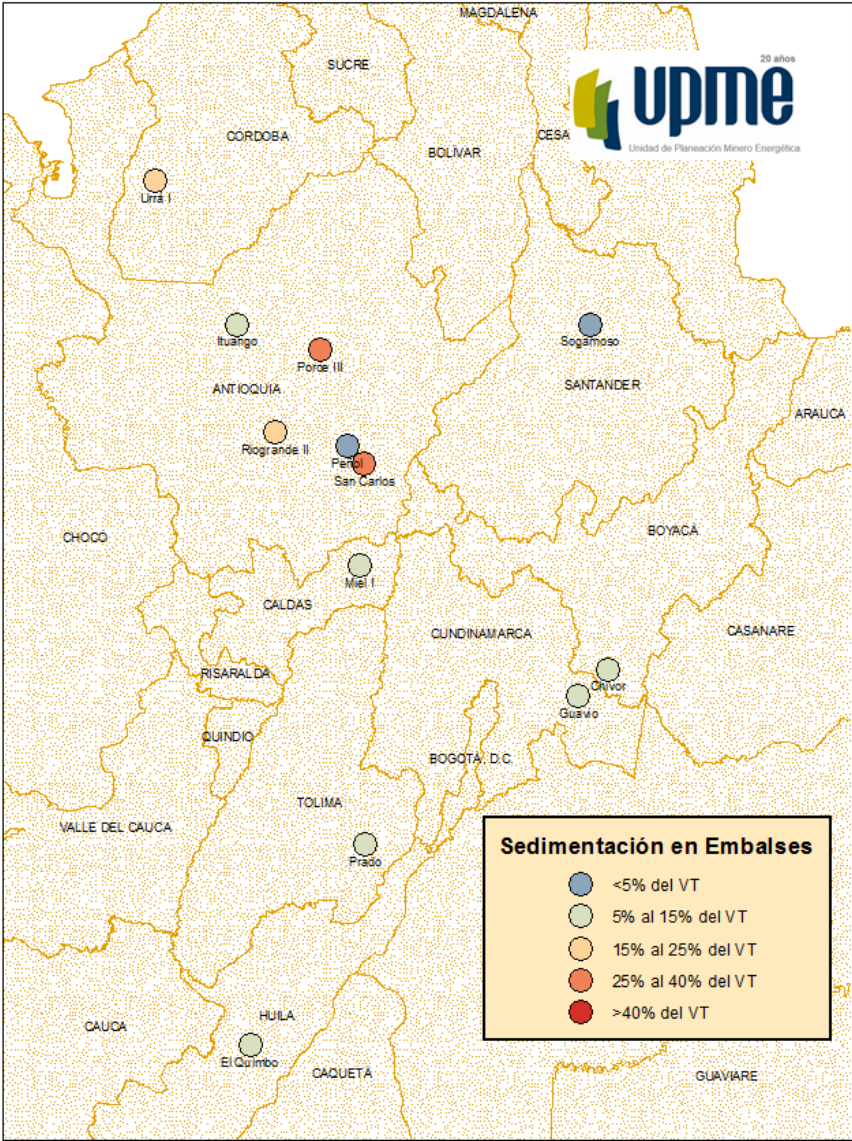
Costos de instalación Normalizados



Valor Esperado Costo Marginal



Índices de desempeño-Cambio Climático y Sedimentación



Índices de desempeño

Resiliencia hidráulica

$$R_{hj} = \left(\frac{\alpha}{n}\right) \cdot \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{E_i}{D_{ei}}\right) + \left(\frac{1-\alpha}{n}\right) \cdot \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{P_i}{D_{pi}}\right)$$

Costo marginal

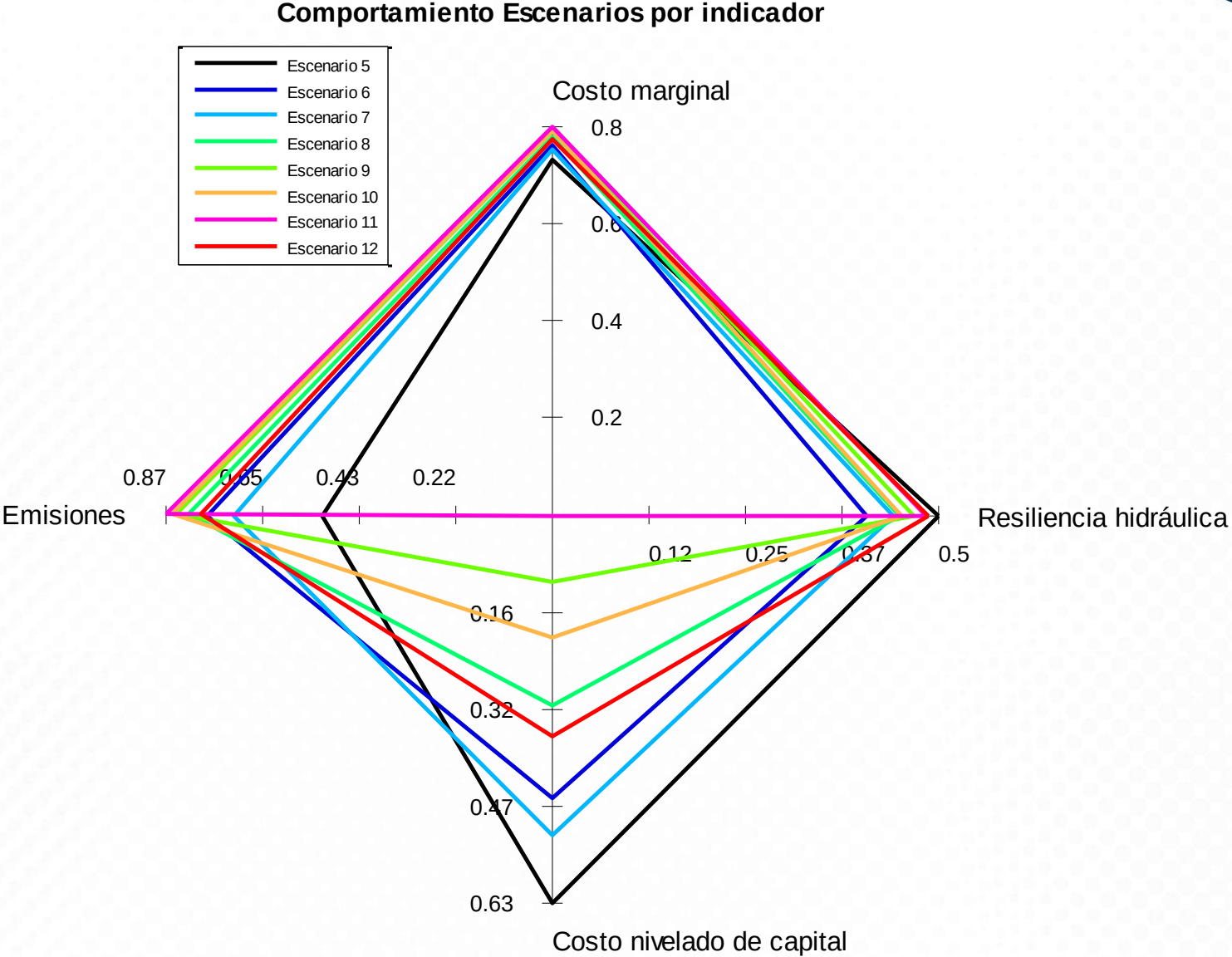
$$I_{Cj} = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{E[C_{mgi}]}{\max(E[C_{mg_{esc\ 3}}])}\right)$$

Emisiones

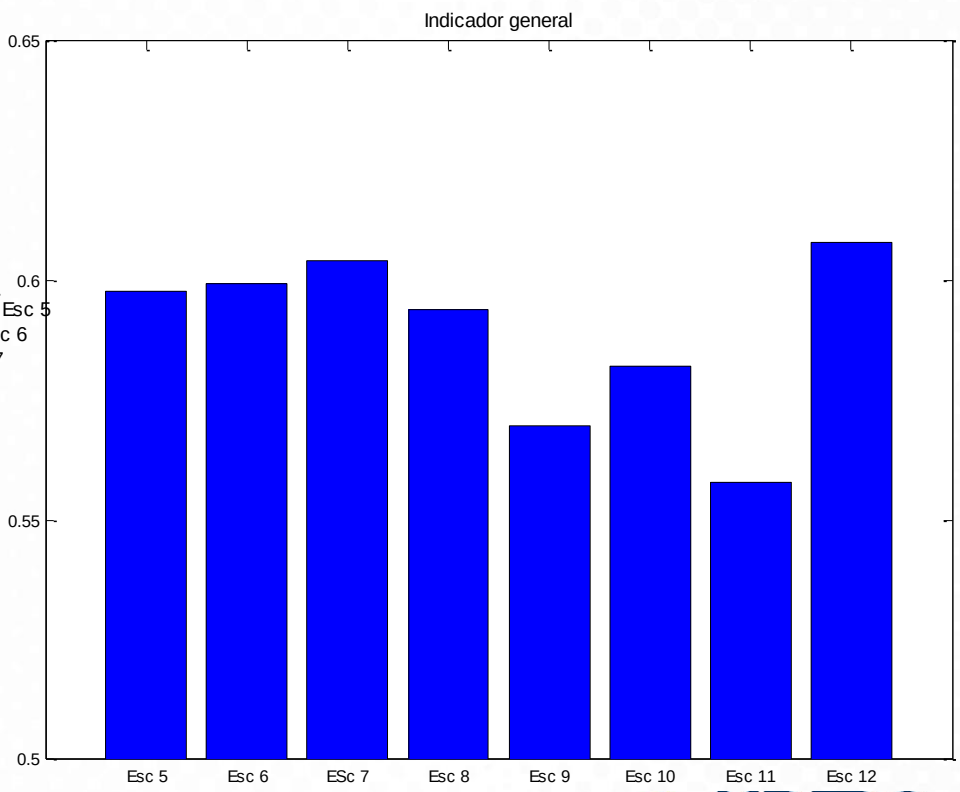
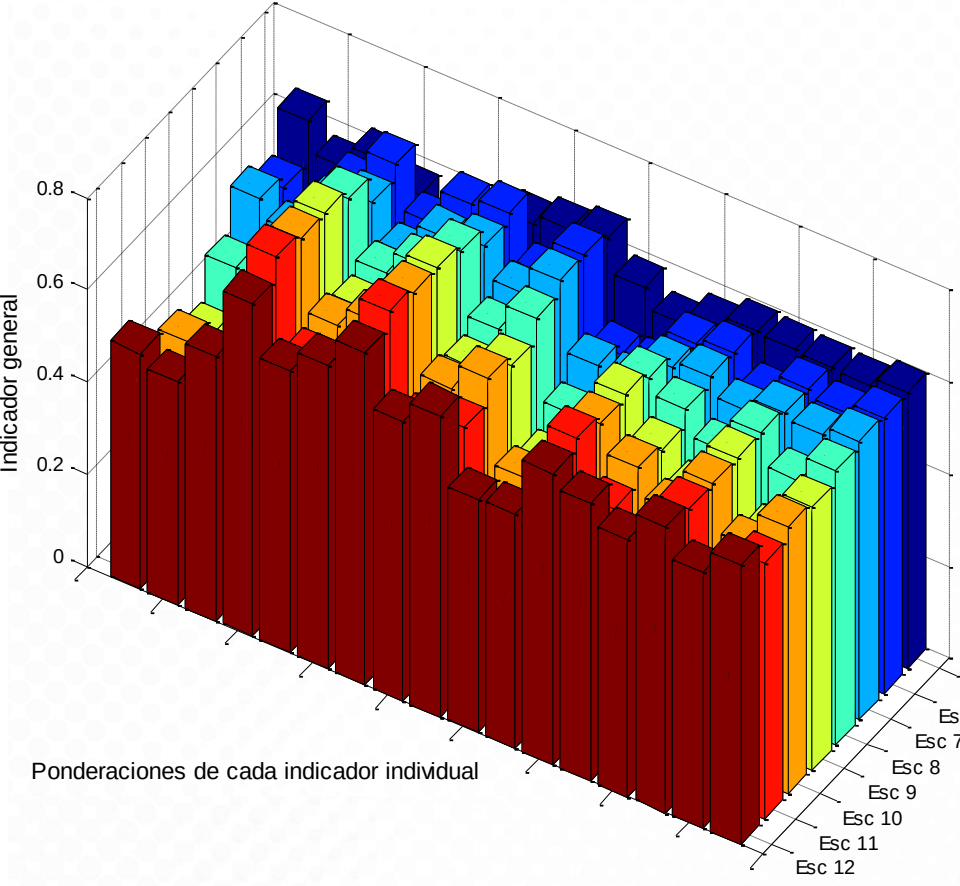
$$I_{Emj} = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{E[M_i]}{\max(E[M_{esc\ 5}])}\right)$$

Costo nivelado de capital

$$I_{C_{capital\ j}} = 1 - \left(\frac{Costo_j}{\max(Costo_5, Costo_6, \dots, Costo_{12})}\right)$$



Índices de desempeño



Agenda

- **Plan de Expansión en Generación**

- ✓ Escenarios Largo Plazo
- ✓ Índices de desempeño

- **Ubicación del recurso-caso eólico península Guajira**

- **Análisis energéticos**

- **Metodología emplazamiento subestación(es) Colectora(s)**

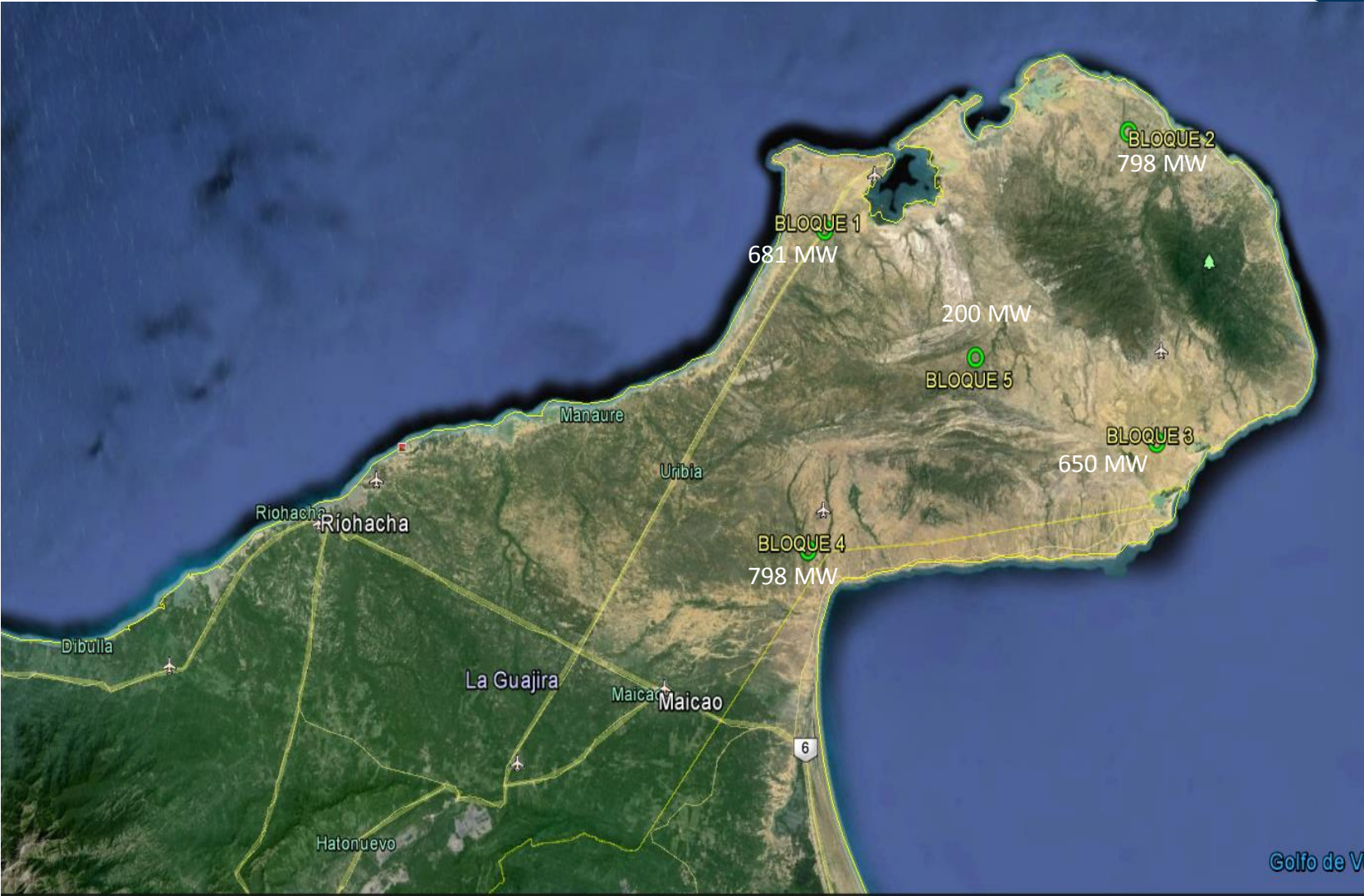
- **Análisis eléctricos-desarrollo de red**

- **Evaluación económica**

- **Retos asociados a la operación y administración del mercado con la incorporación de energías renovables**

- **Ajustes regulatorios**

Índices de desempeño



Agenda

- **Plan de Expansión en Generación**

- ✓ Escenarios Largo Plazo
- ✓ Índices de desempeño

- Ubicación del recurso-caso eólico península Guajira

- **Análisis energéticos**

- Metodología emplazamiento subestación(es) Colectora(s)

- Análisis eléctricos-desarrollo de red

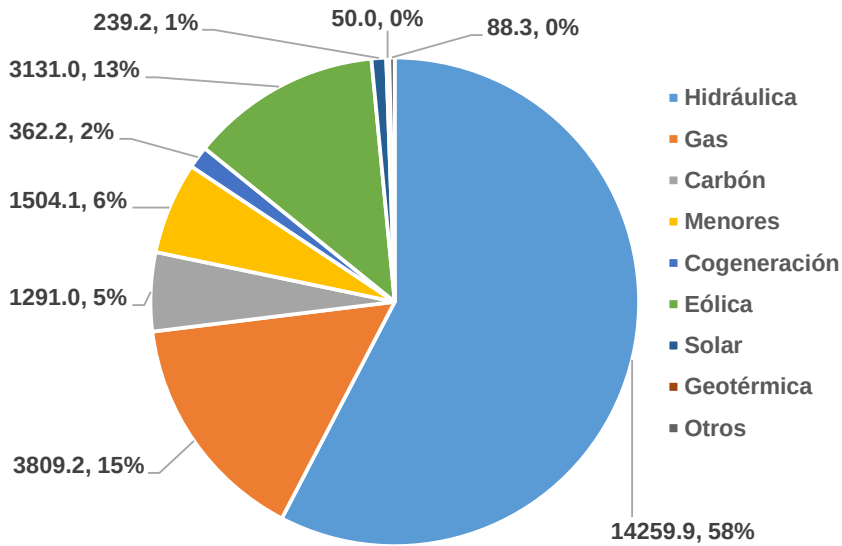
- Evaluación económica

- Retos asociados a la operación y administración del mercado con la incorporación de energías renovables

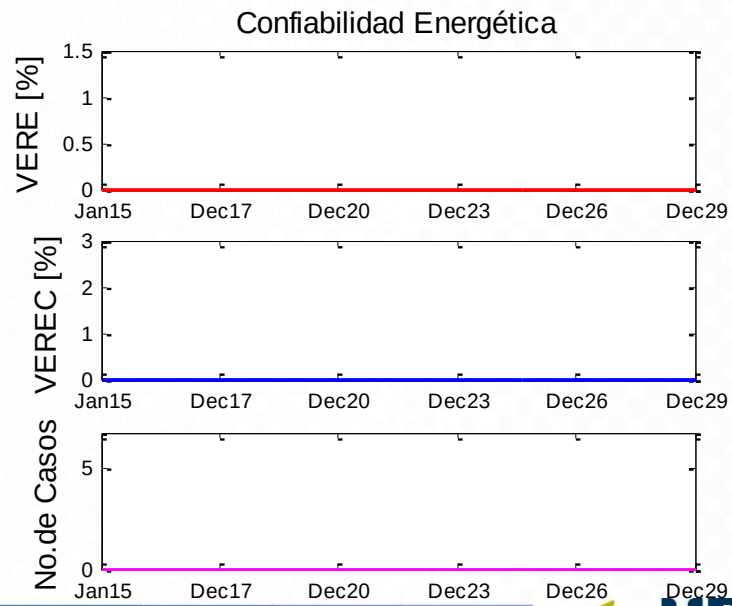
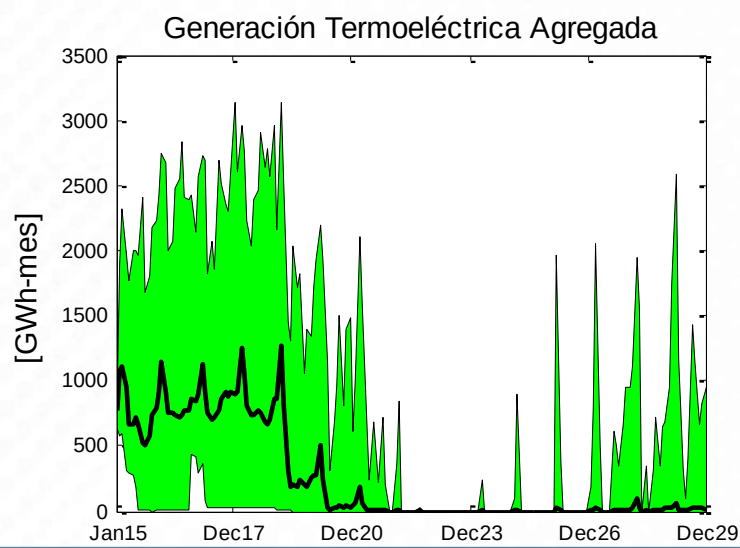
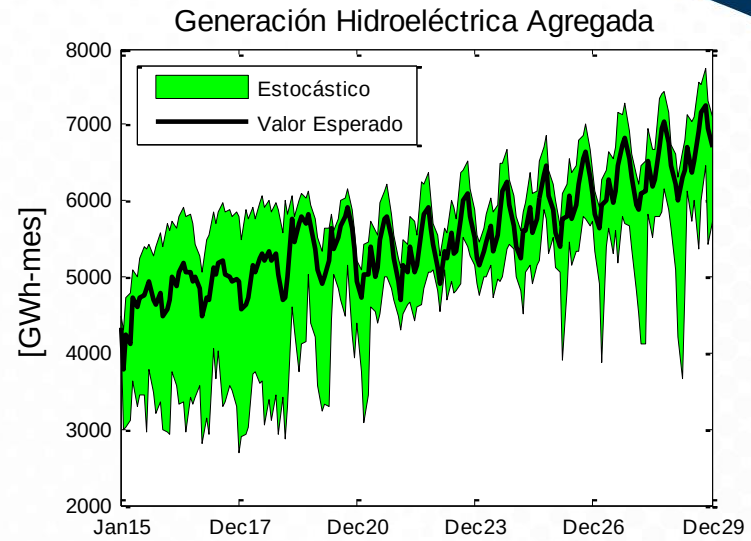
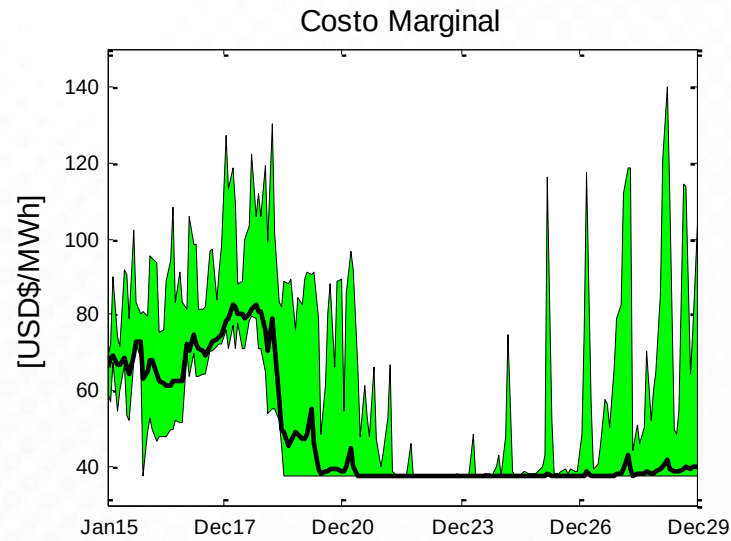
- Ajustes regulatorios

Escenario 11

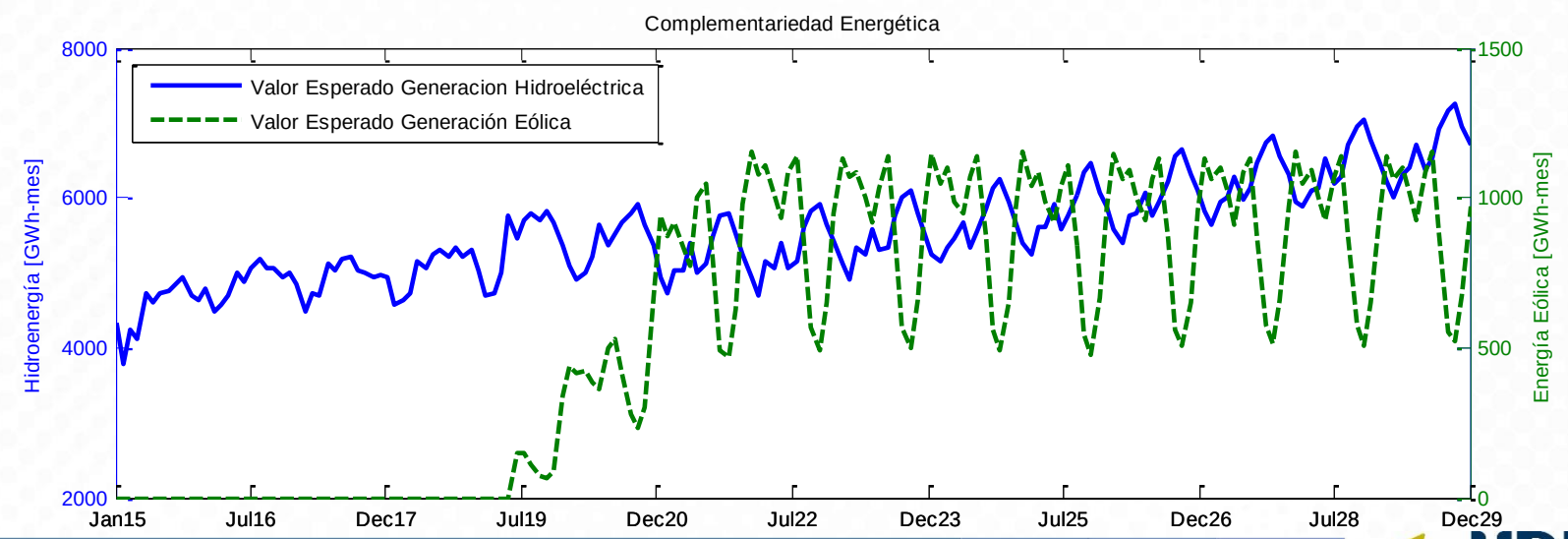
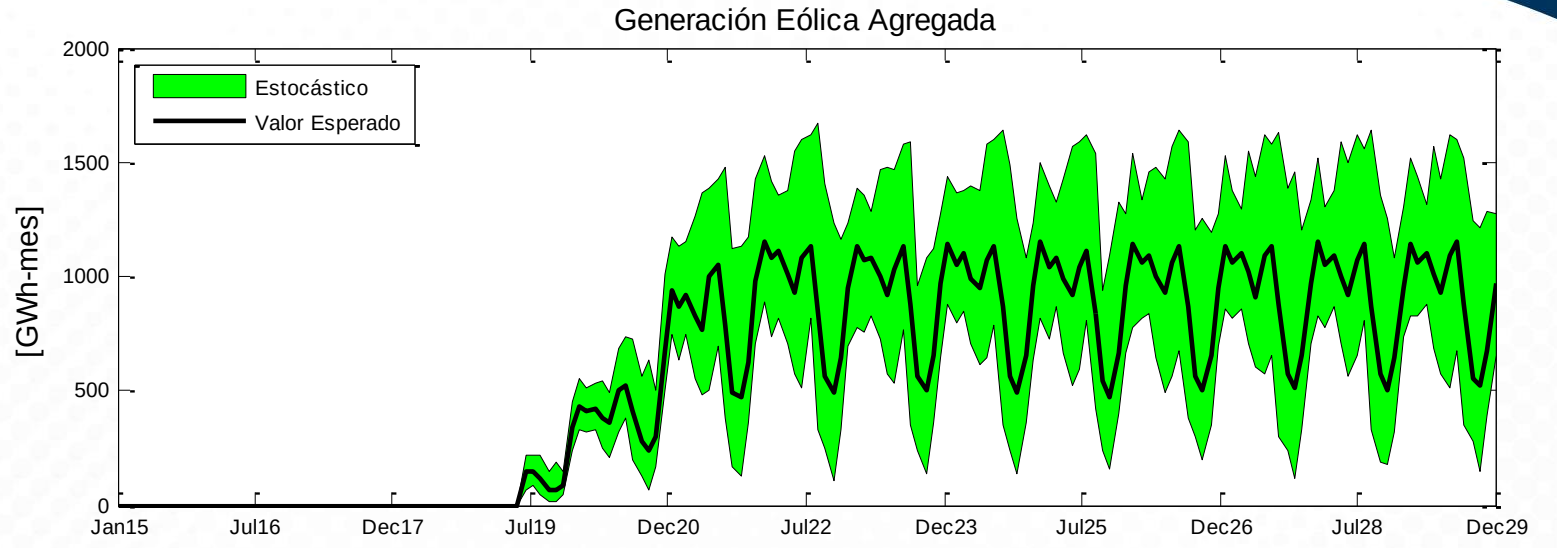
Recurso	Base	Cargo por confiabilidad	Expansión adicional	Total
Hidráulica	10315.0	1771.1	2173.8	14259.9
Gas	3809.2	0.0	0.0	3809.2
Carbón	717.0	574.0	0.0	1291.0
Menores	707.6	0.0	796.6	1504.1
Cogeneración	77.2	0.0	285.0	362.2
Eólica	0.0	0.0	3131.0	3131.0
Solar	0.0	0.0	239.2	239.2
Geotérmica	0.0	0.0	50.0	50.0
Otros	0.0	88.3	0.0	88.3
Total	15626.0	2433.4	6675.5	24734.9



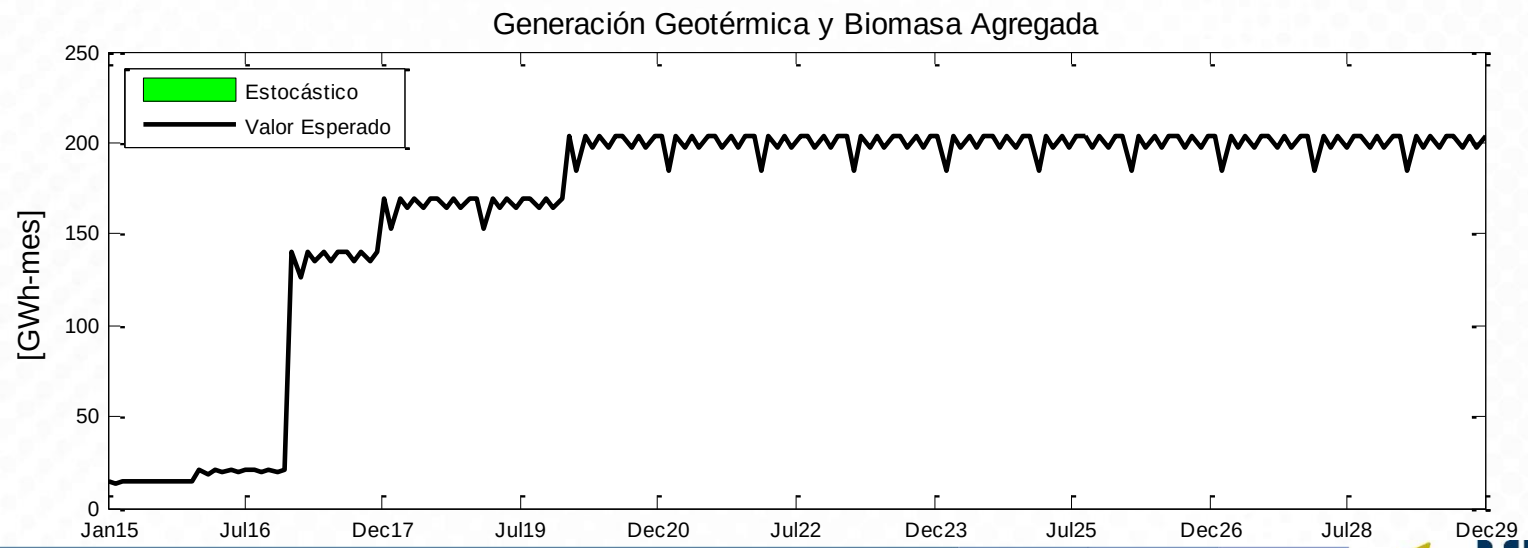
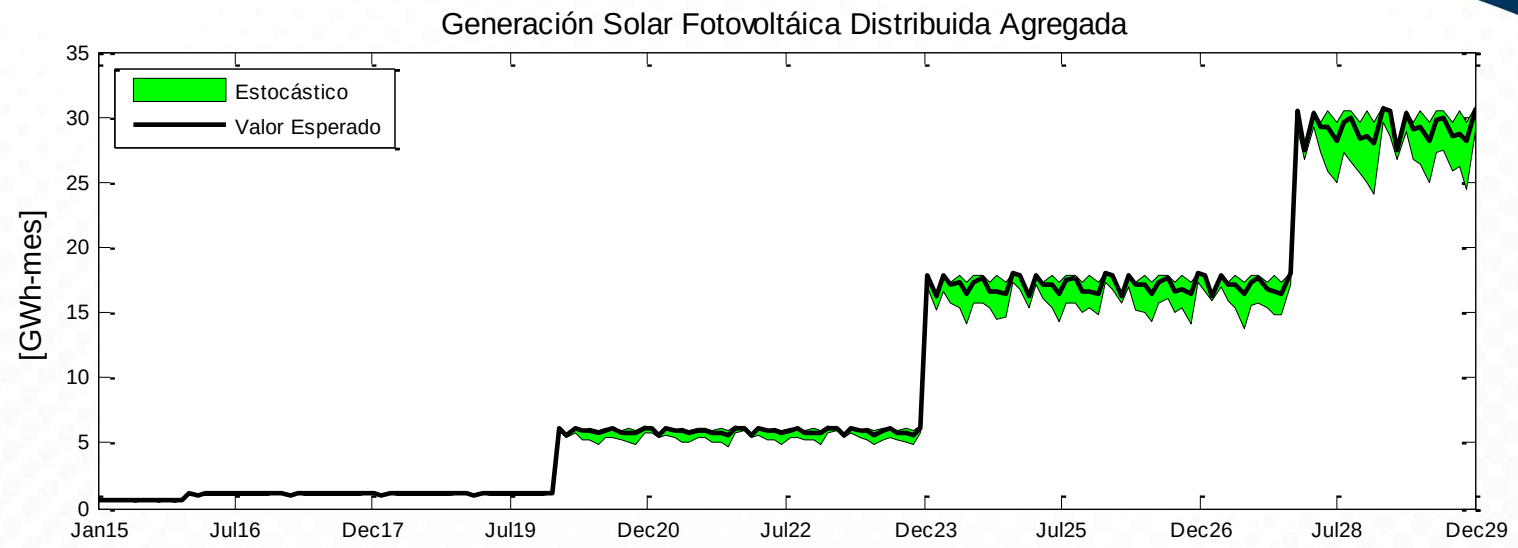
Análisis energéticos-Escenario 11



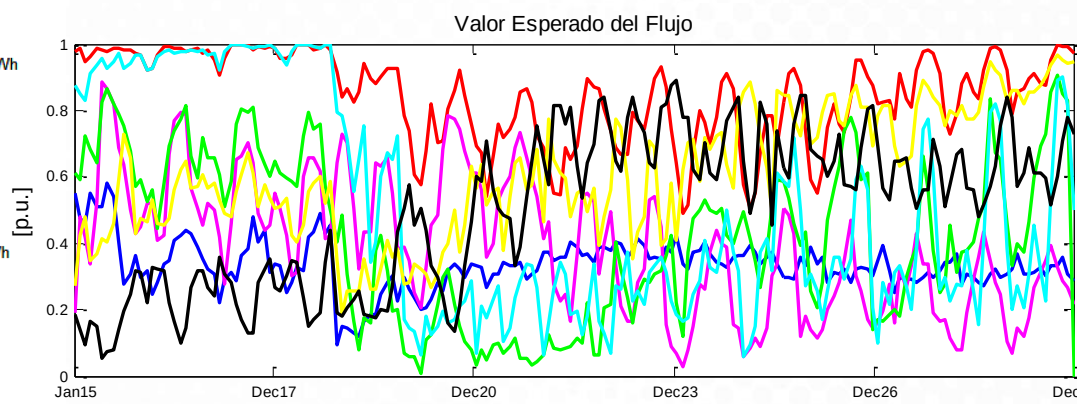
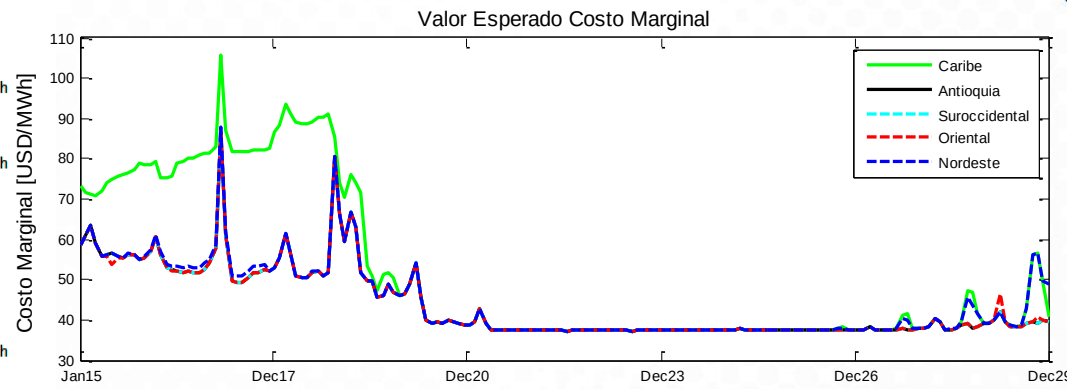
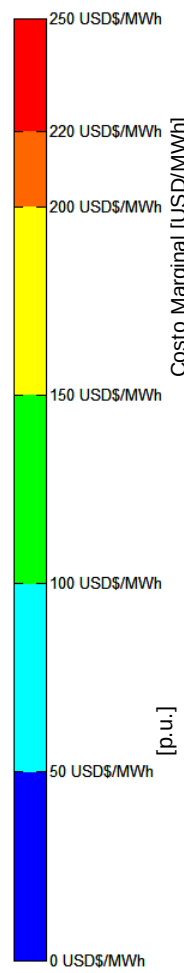
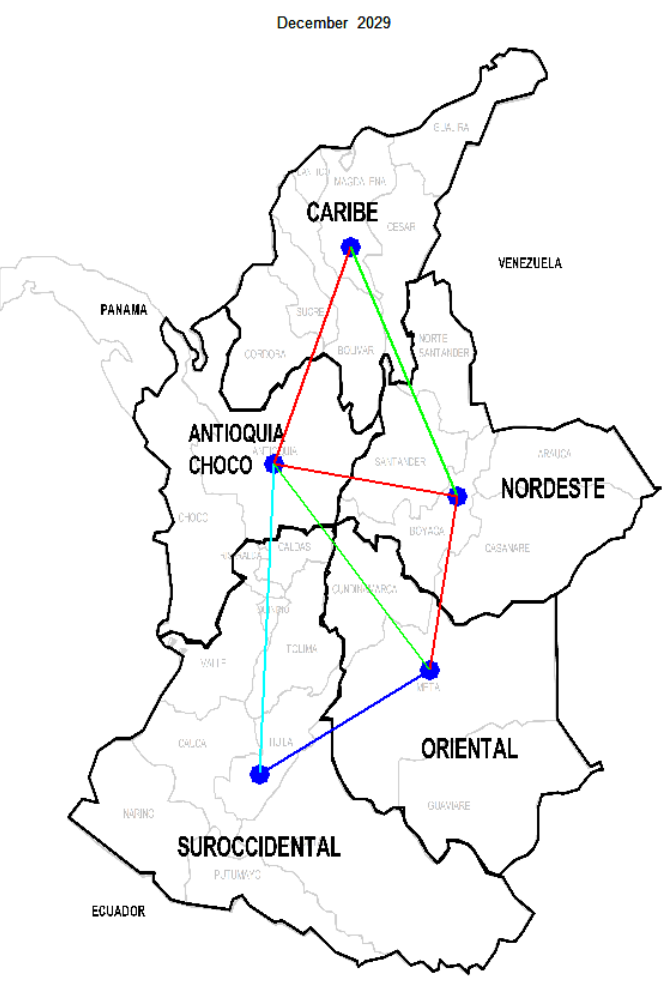
Análisis energéticos-Escenario 11



Análisis energéticos-Escenario 11

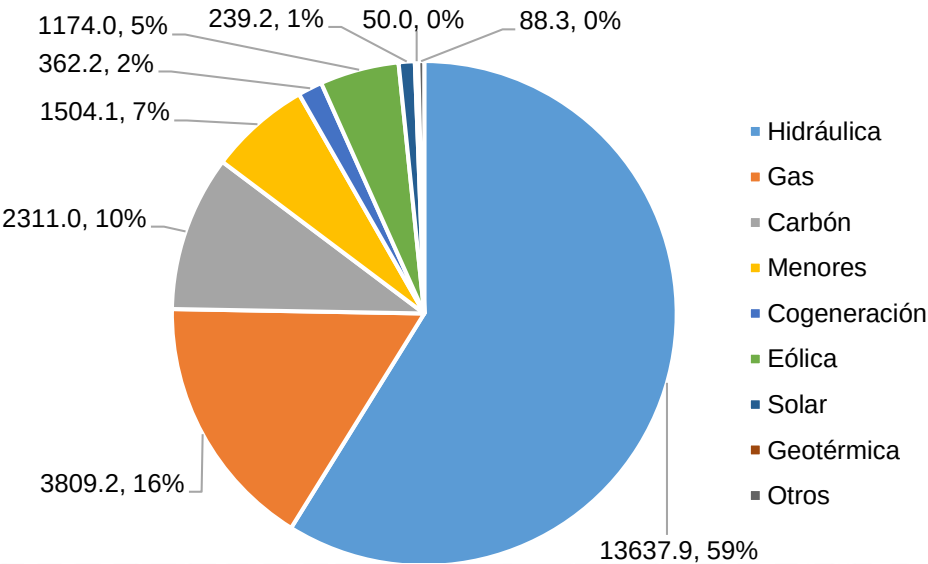


Análisis energéticos-Escenario 11

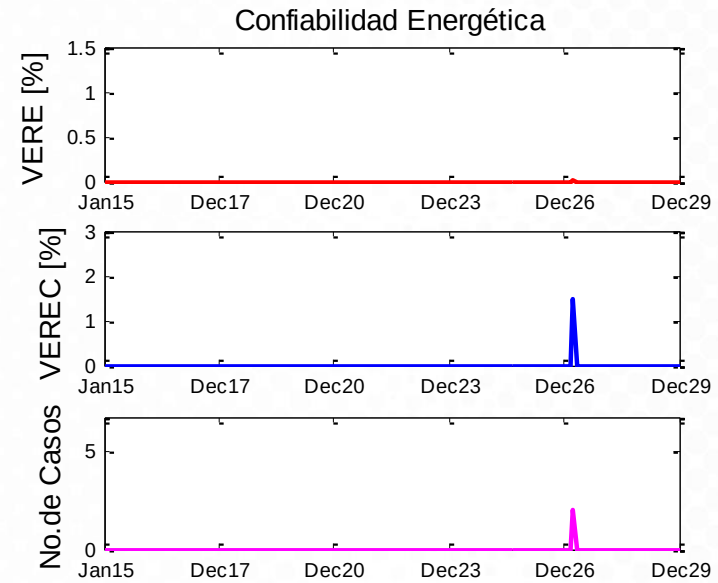
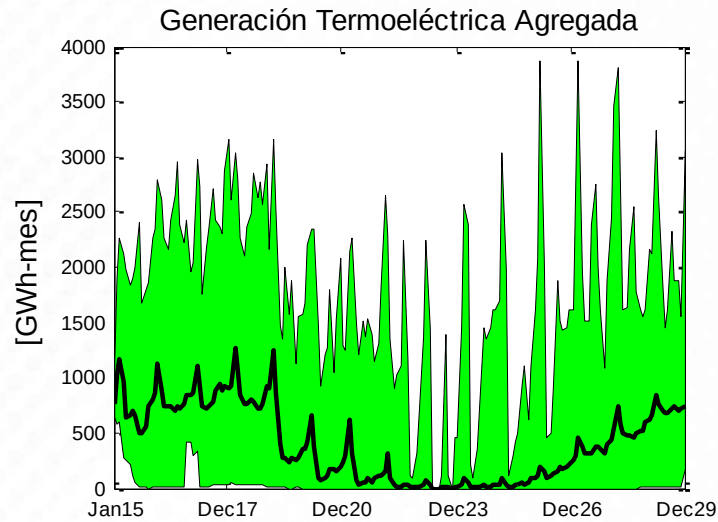
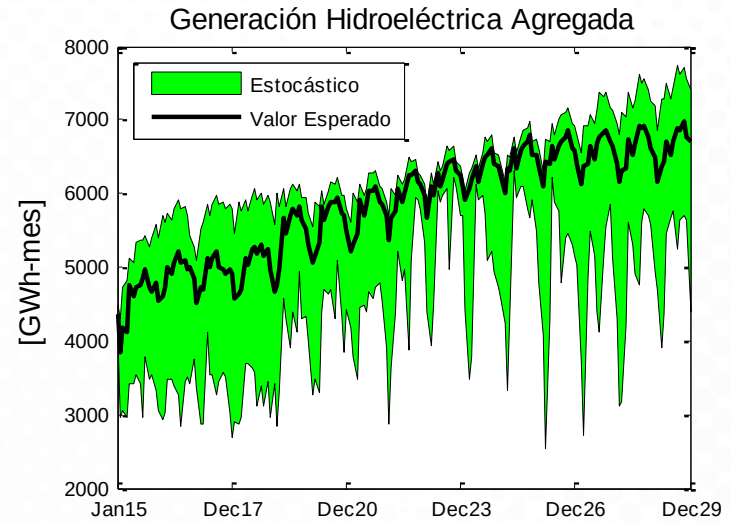
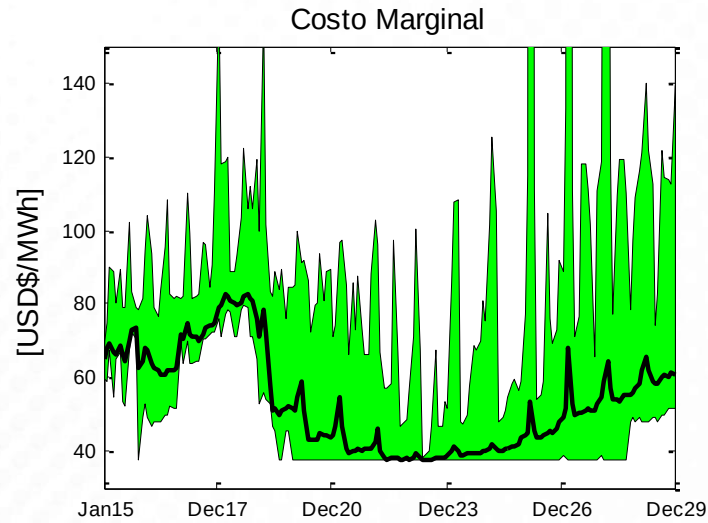


Escenario 12

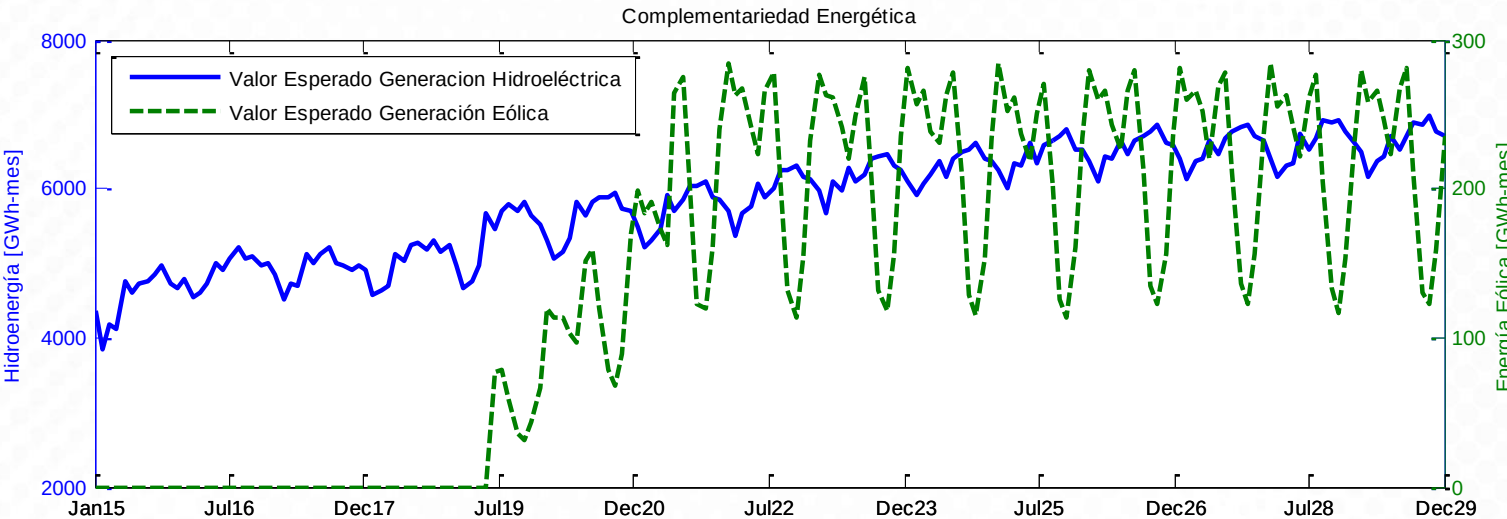
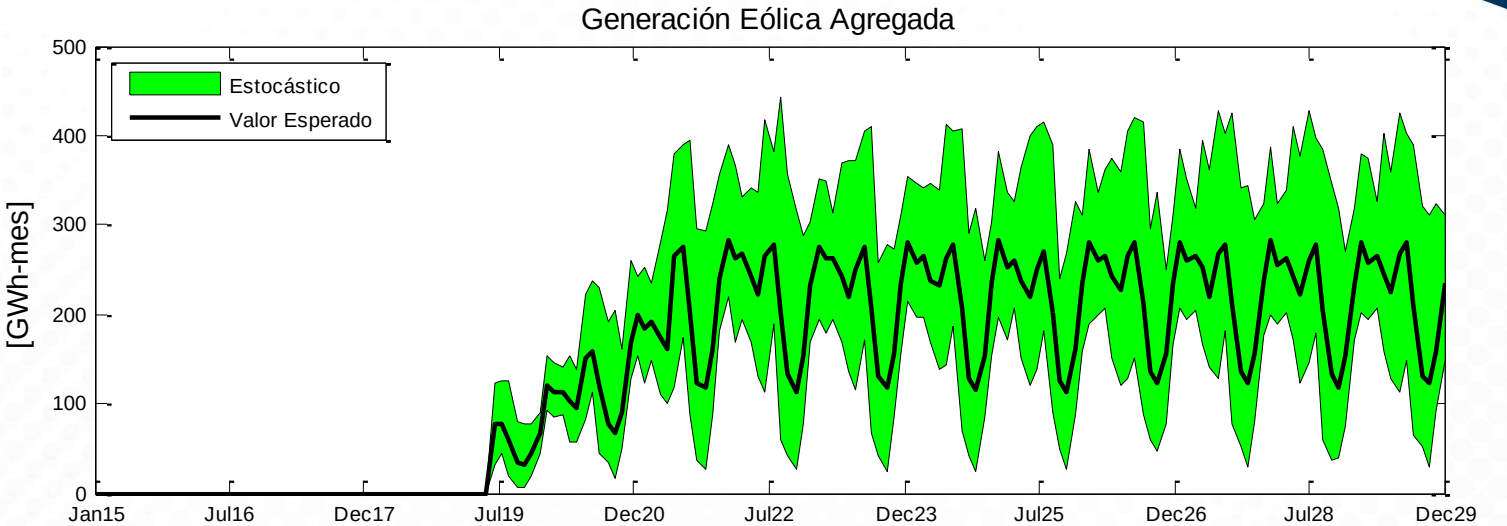
Recurso	Base	Cargo por confiabilidad	Expansión adicional	Total
Hidráulica	10315.0	1771.1	1551.8	13637.9
Gas	3809.2	0.0	0.0	3809.2
Carbón	717.0	574.0	1020.0	2311.0
Menores	707.6	0.0	796.6	1504.1
Cogeneración	77.2	0.0	285.0	362.2
Eólica	0.0	0.0	1174.0	1174.0
Solar	0.0	0.0	239.2	239.2
Geotérmica	0.0	0.0	50.0	50.0
Otros	0.0	88.3	0.0	88.3
Total	15626.0	2433.4	5116.5	23175.9



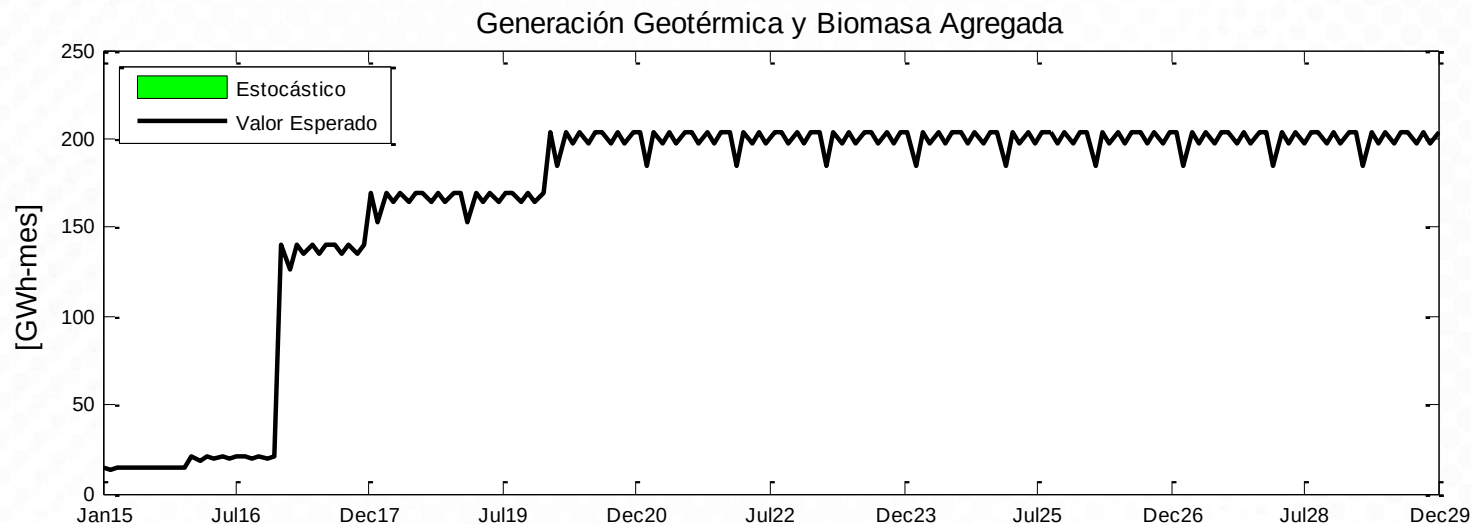
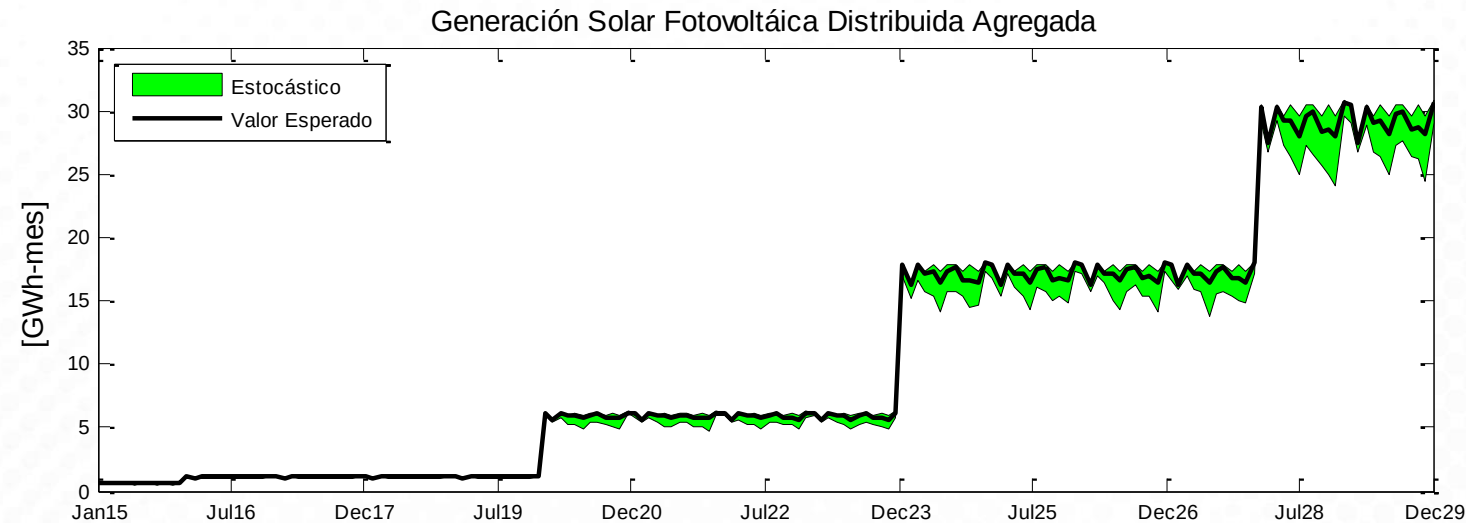
Análisis energéticos-Escenario 12



Análisis energéticos-Escenario 12

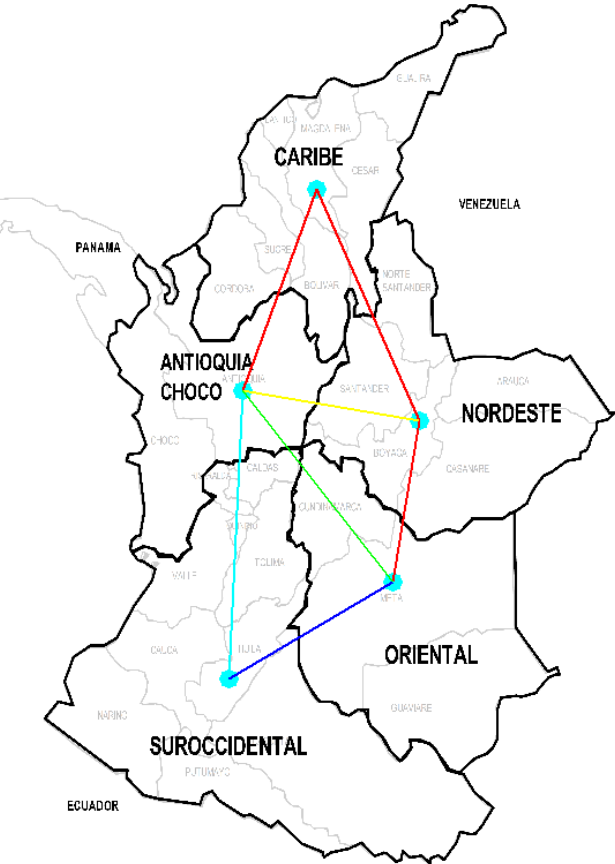


Análisis energéticos-Escenario 12

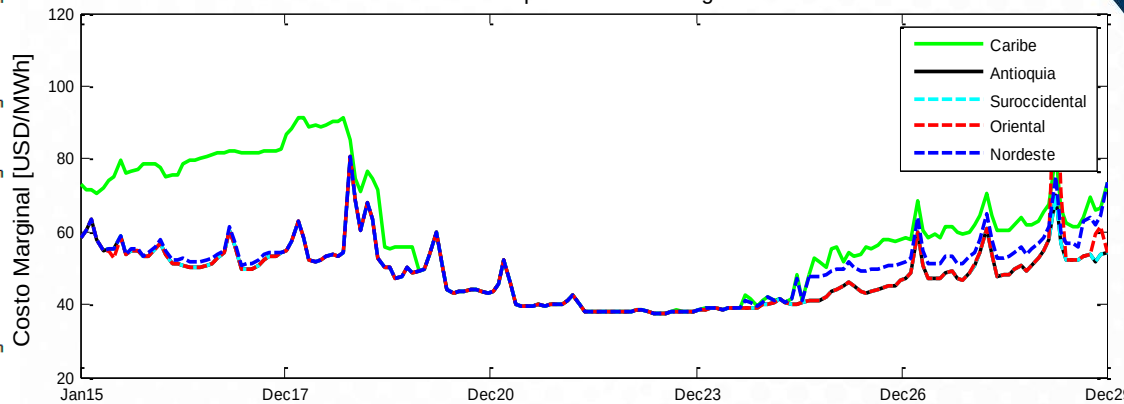


Análisis energéticos-Escenario 12

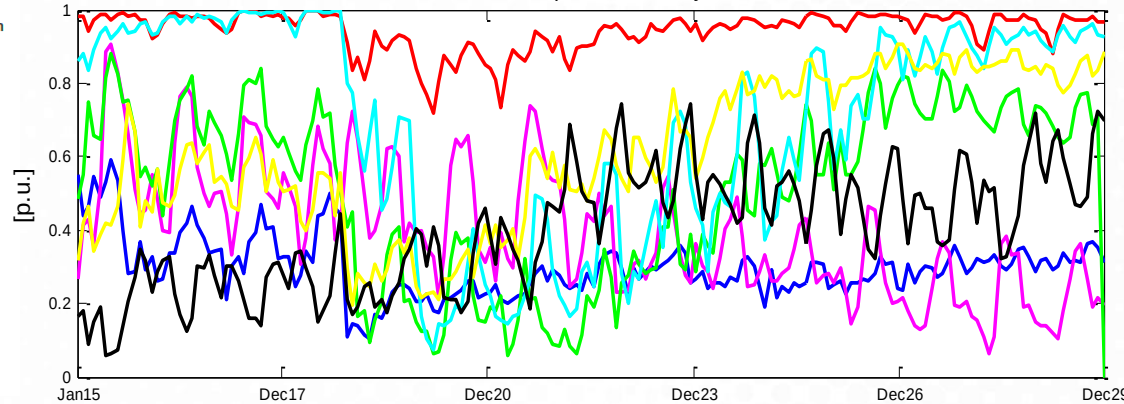
December 2029



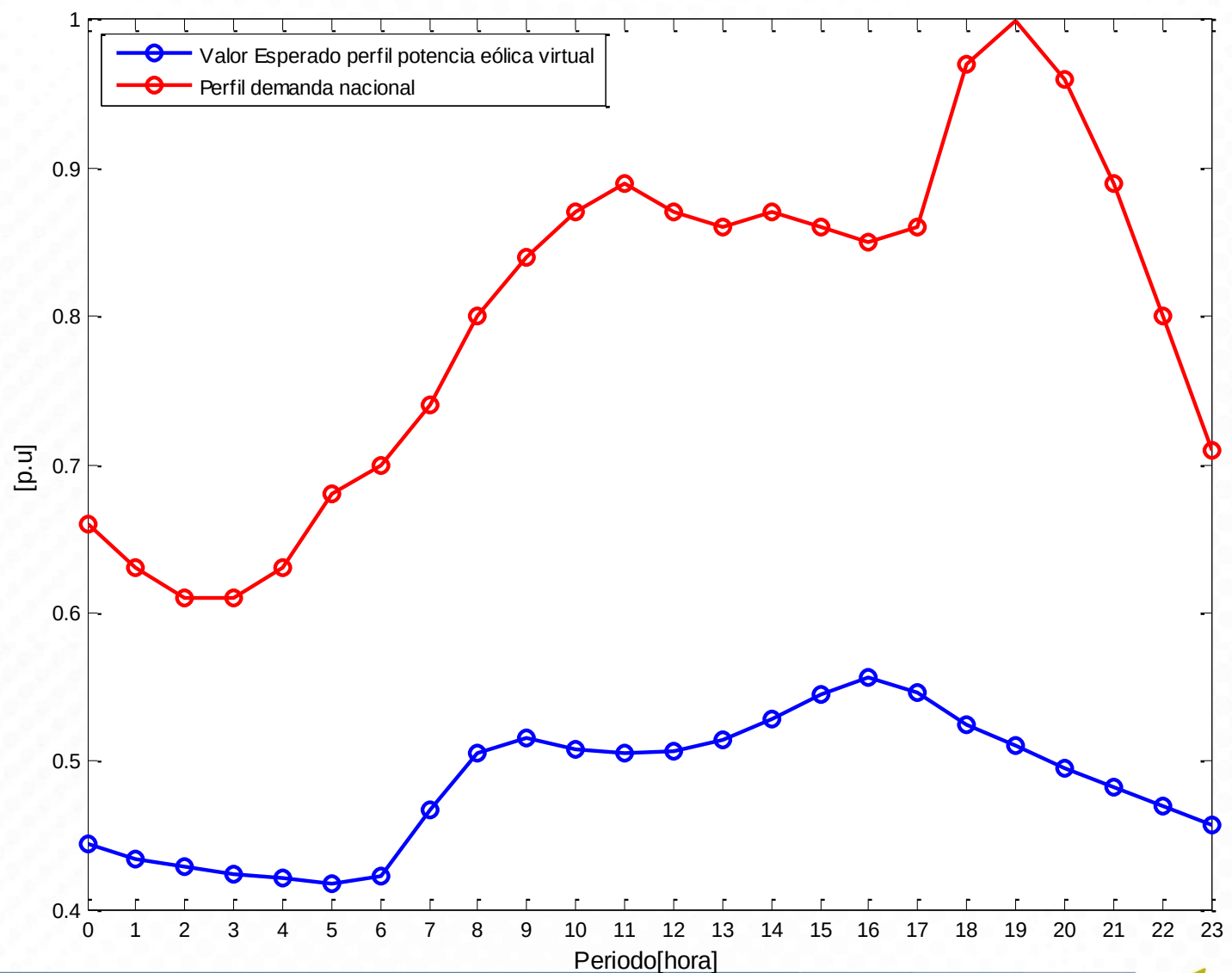
Valor Esperado Costo Marginal



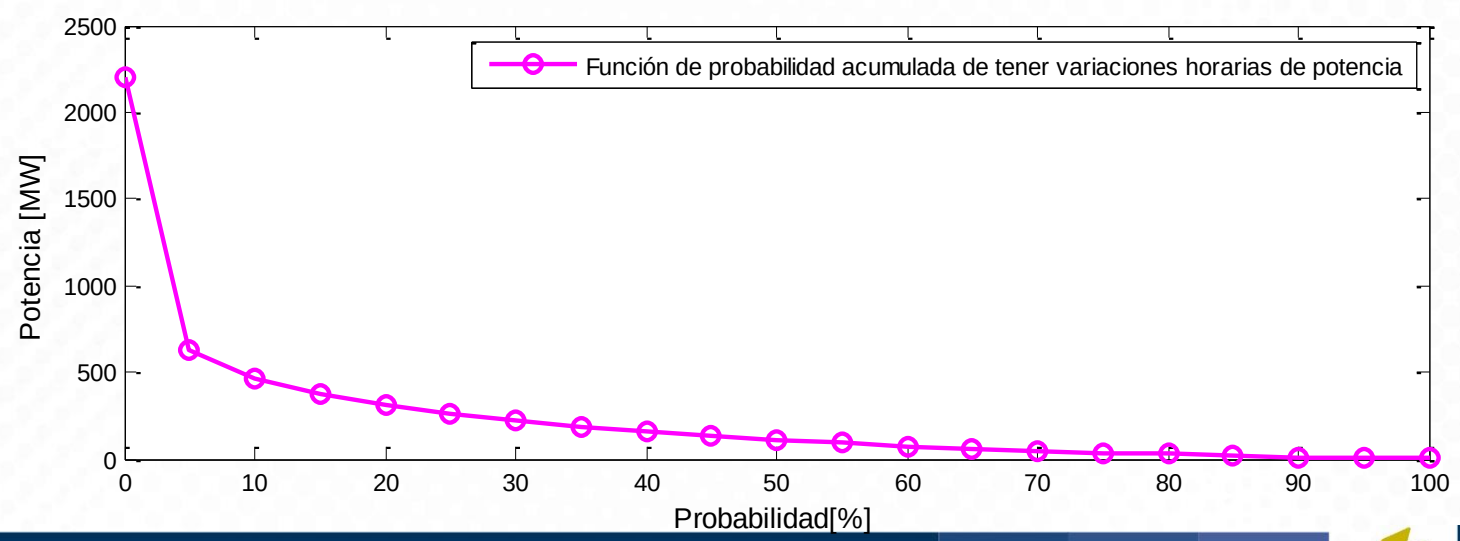
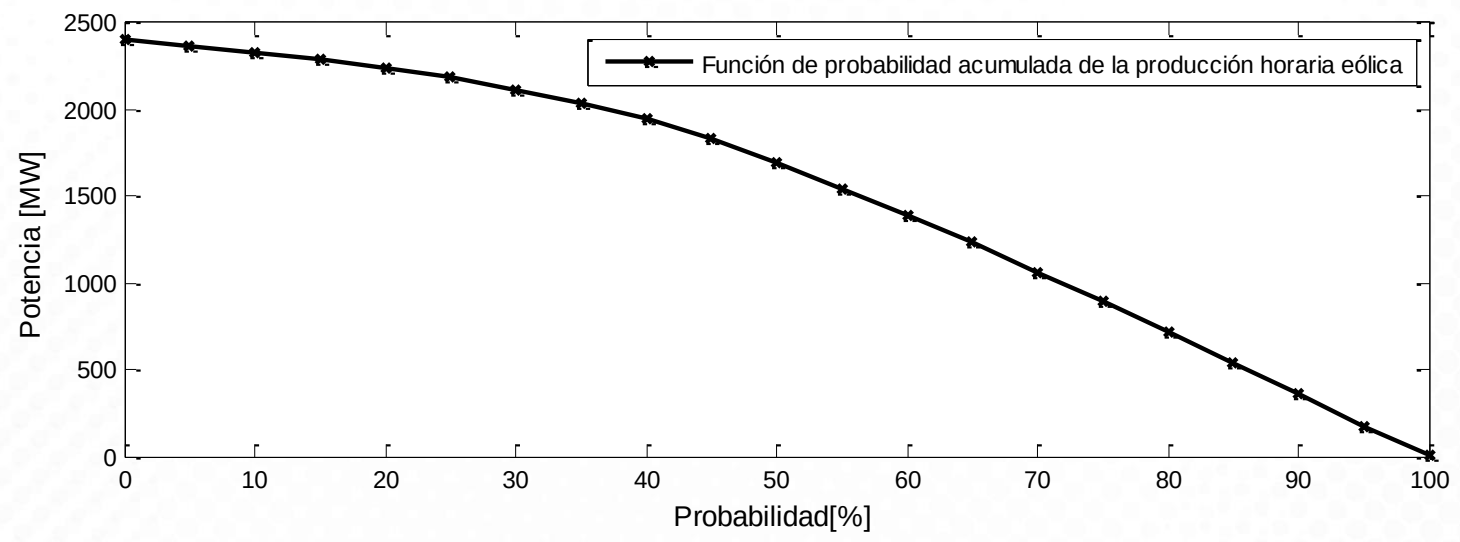
Valor Esperado del Flujo



Análisis energéticos



Análisis energéticos



Agenda

- **Plan de Expansión en Generación**

- ✓ Escenarios Largo Plazo
- ✓ Índices de desempeño

- Ubicación del recurso-caso eólico península Guajira

- Análisis energéticos

- **Metodología emplazamiento subestación(es) Colectora(s)**

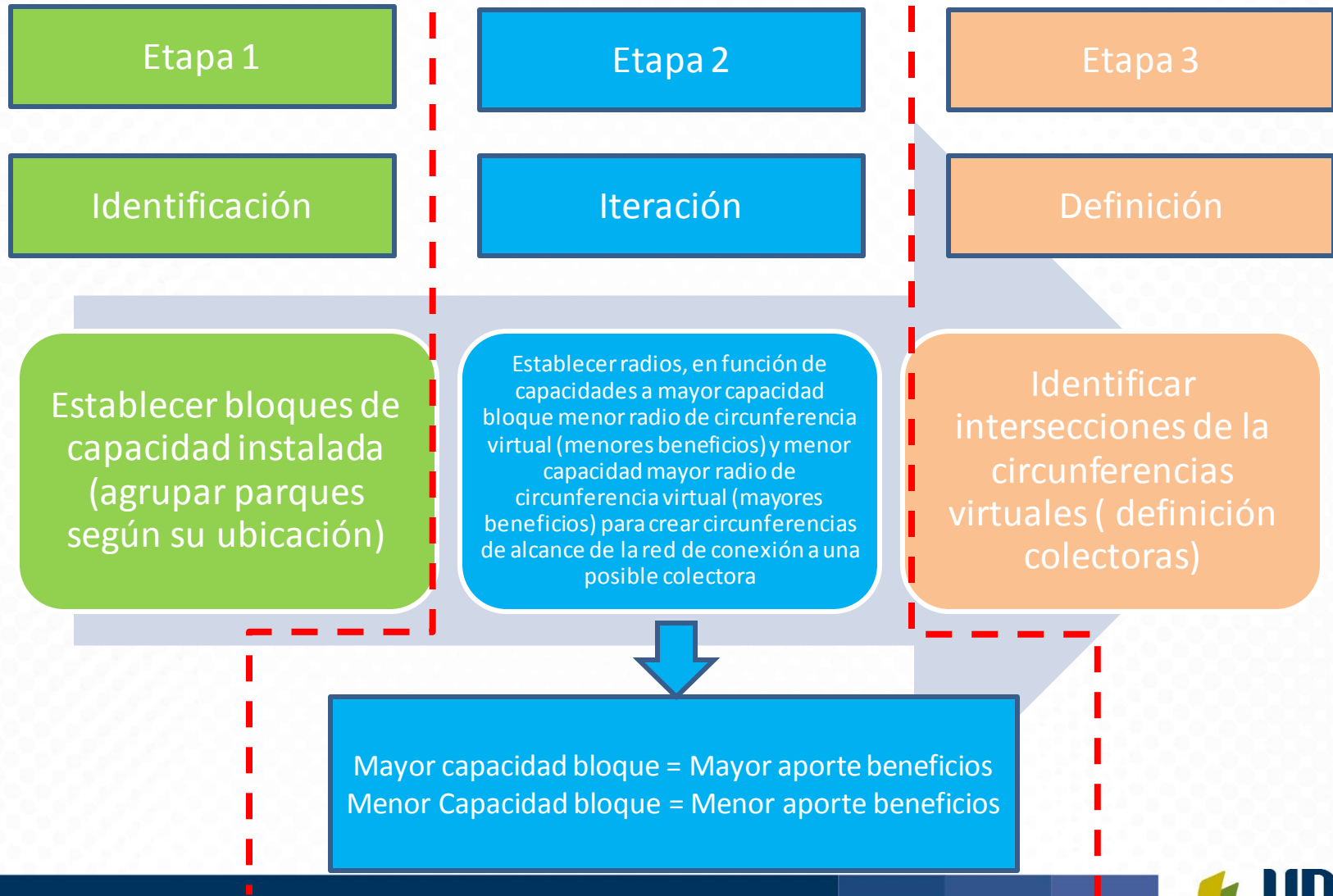
- Análisis eléctricos-desarrollo de red

- Evaluación económica

- Retos asociados a la operación y administración del mercado con la incorporación de energías renovables

- Ajustes regulatorios

Metodología emplazamiento subestación(es) Colectora(s)



Metodología emplazamiento subestación(es) Colectora(s)

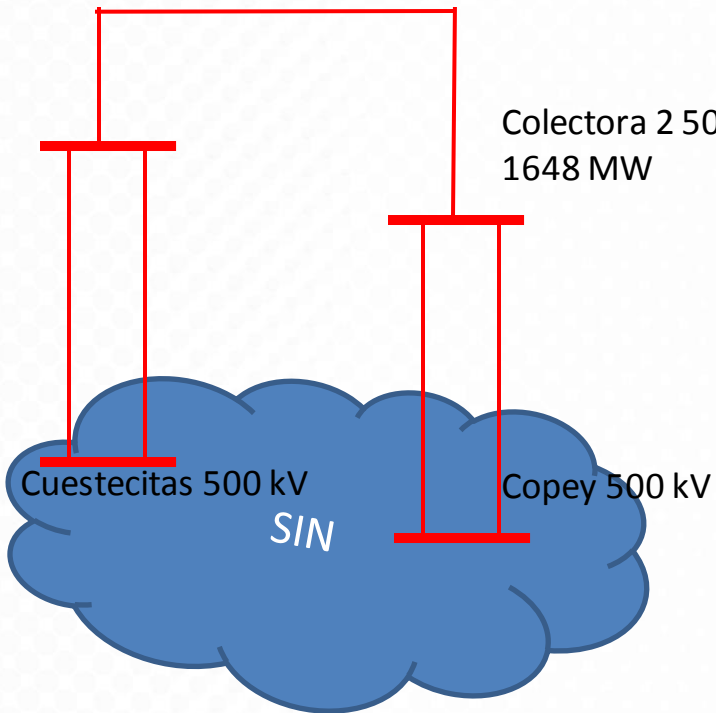


Metodología emplazamiento subestación(es) Colectora(s)

Estrategia 1

Colectora 1 500 kV
1479 MW

Colectora 2 500 kV
1648 MW



Estrategia 2

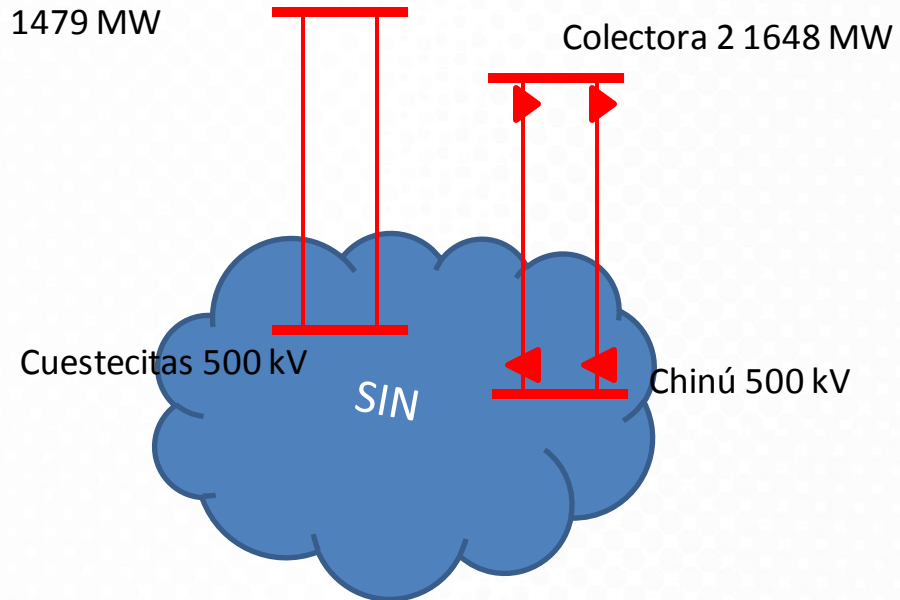
Colectora 1 500 kV
1479 MW

Colectora 2 1648 MW

Cuestecitas 500 kV

SIN

Chinú 500 kV



Agenda

- **Plan de Expansión en Generación**

- ✓ Escenarios Largo Plazo
- ✓ Índices de desempeño

- Ubicación del recurso-caso eólico península Guajira

- Análisis energéticos

- Metodología emplazamiento subestación(es) Colectora(s)

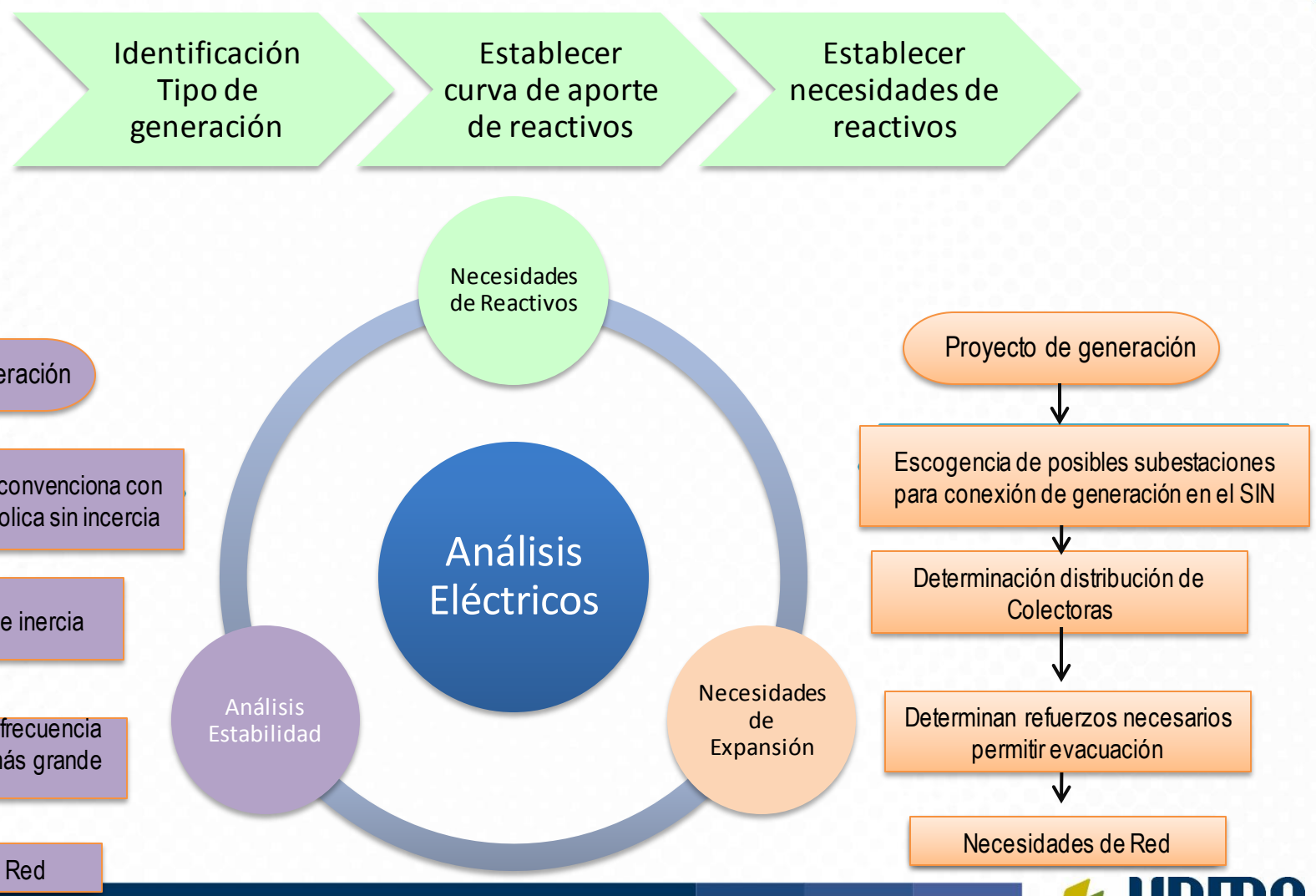
- **Análisis eléctricos-desarrollo de red**

- Evaluación económica

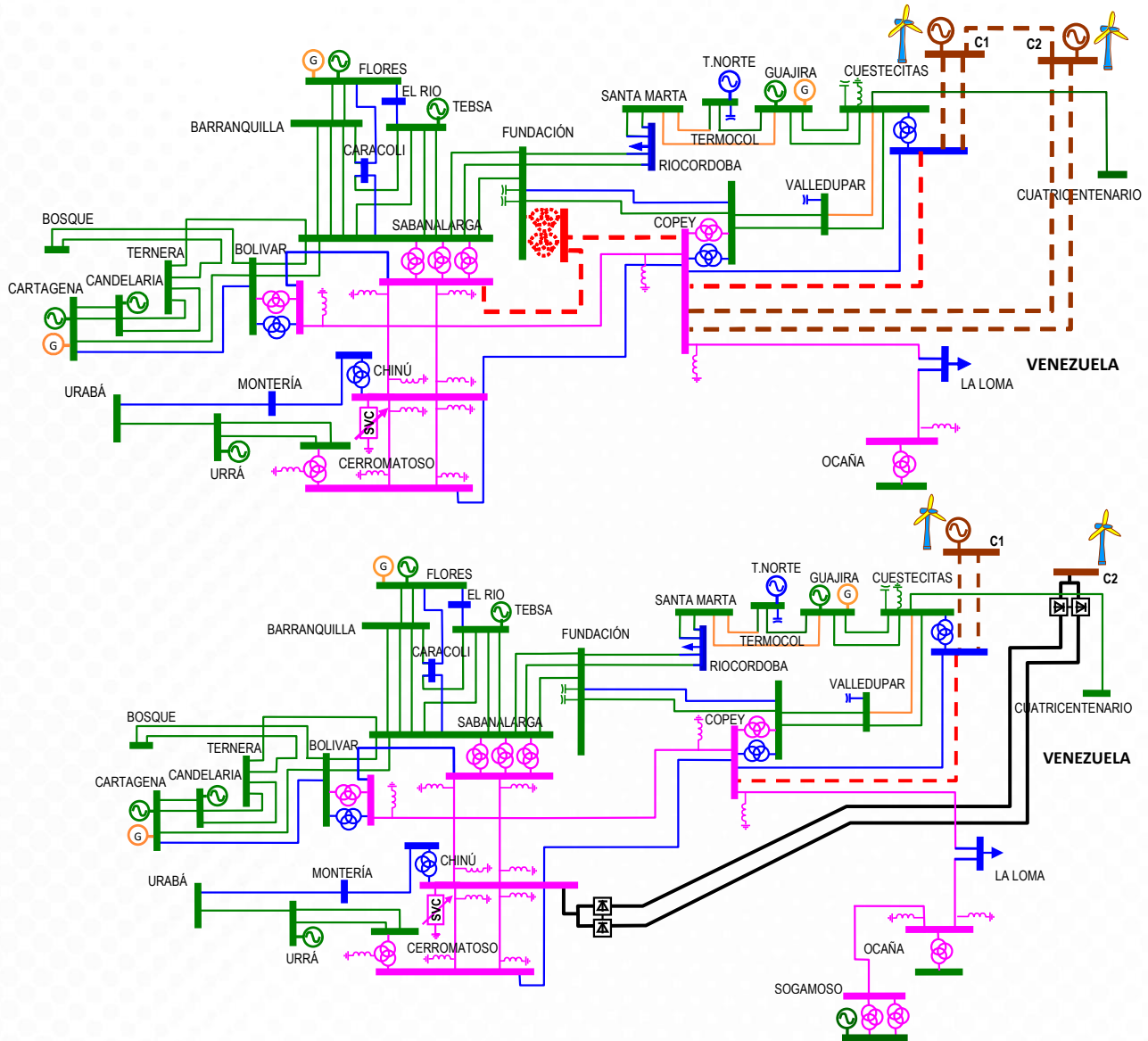
- Retos asociados a la operación y administración del mercado con la incorporación de energías renovables

- Ajustes regulatorios

Análisis eléctricos



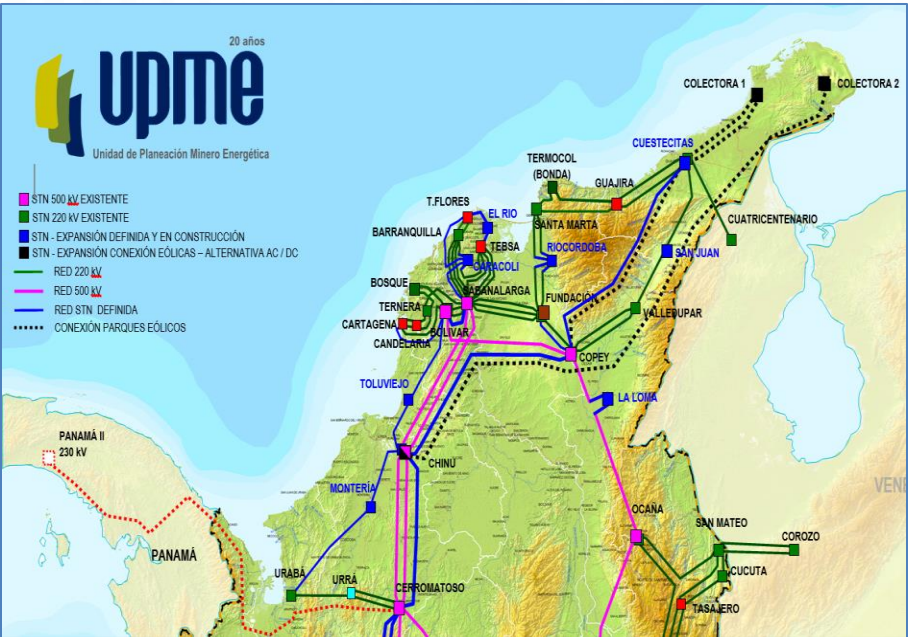
Análisis eléctricos



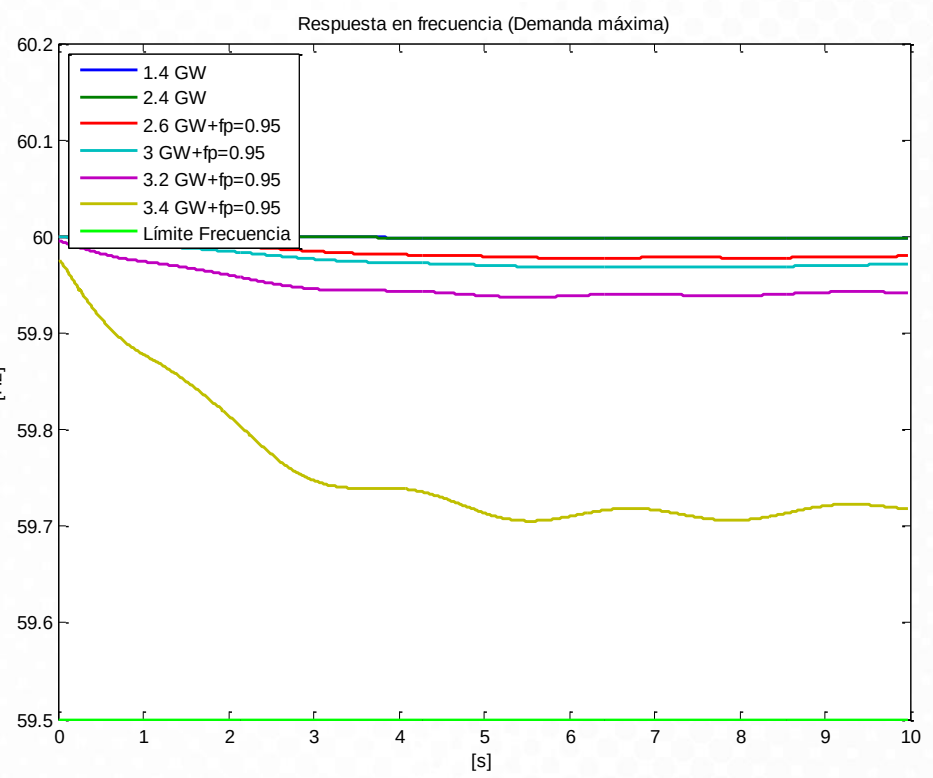
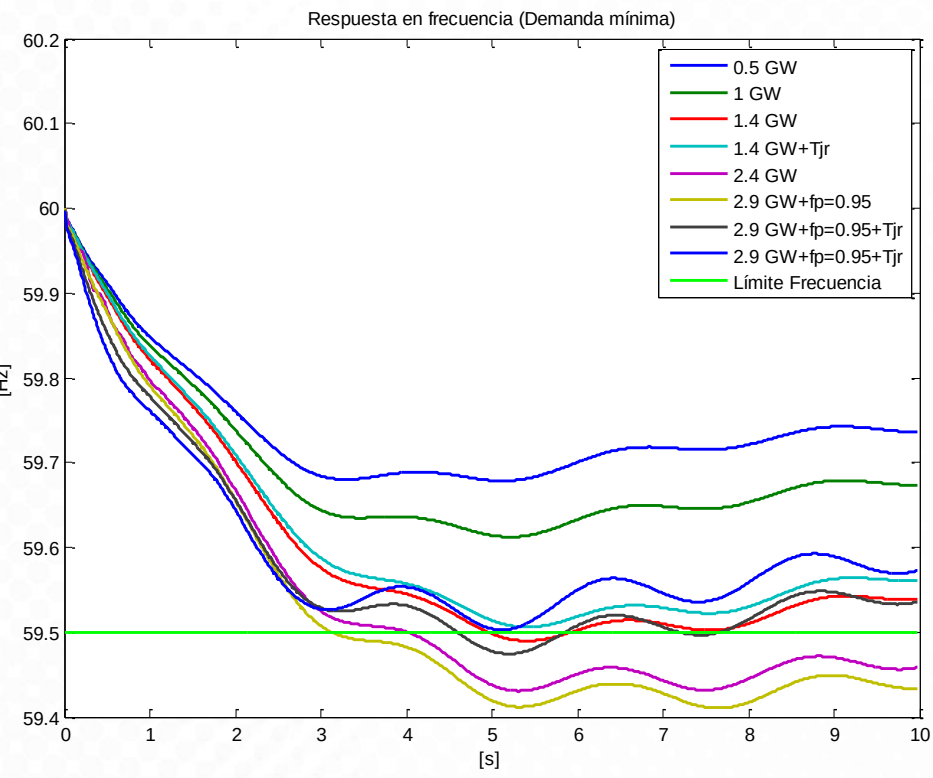
HVAC-3500 MW

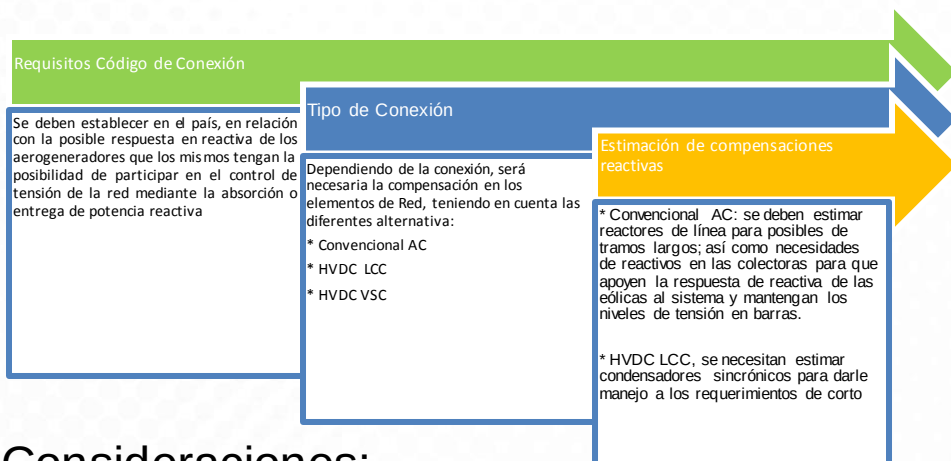
HVAC+HVDC VSC - 3500 MW

Análisis eléctricos



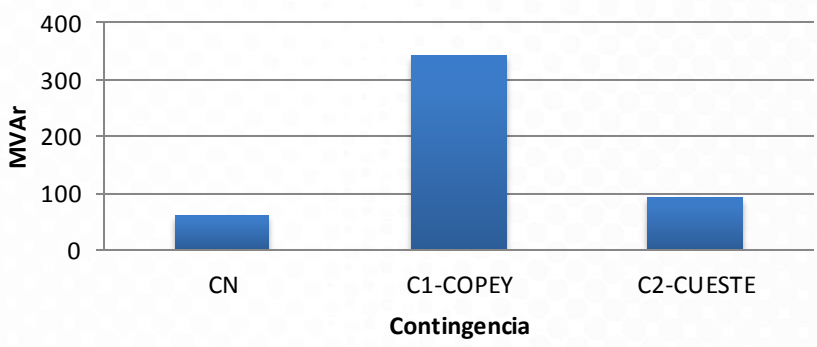
Análisis eléctricos



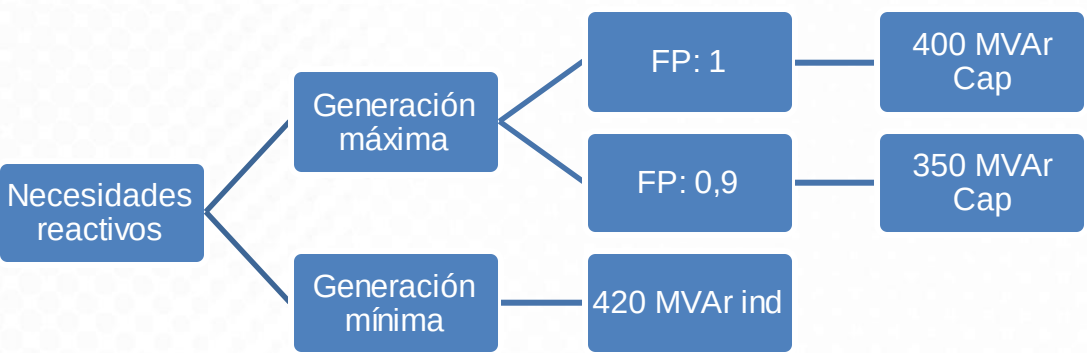


Consideraciones:

Necesidades de Reactivos 2 Colectoras



Reactores de línea entre Copey y Colectora 2, entre Cuestecitas y Colectora1



Reactivos	Condición
61	CN
342,7	C1-COPEY
93	C2-CUESTE

Agenda

- **Plan de Expansión en Generación**

- ✓ Escenarios Largo Plazo
- ✓ Índices de desempeño

- Ubicación del recurso-caso eólico península Guajira

- Análisis energéticos

- Metodología emplazamiento subestación(es) Colectora(s)

- Análisis eléctricos-desarrollo de red

- **Evaluación económica**

- Retos asociados a la operación y administración del mercado con la incorporación de energías renovables

- Ajustes regulatorios

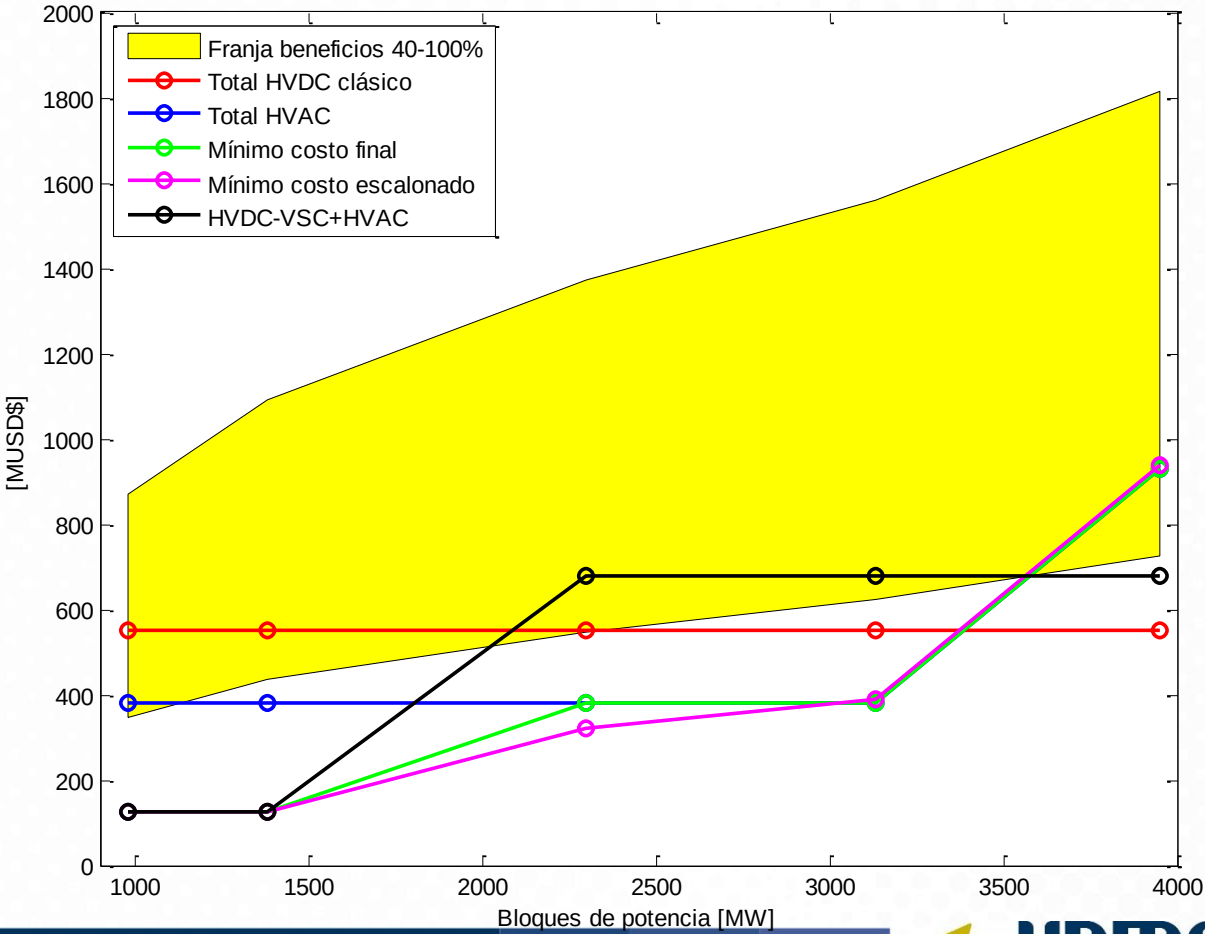
Evaluación económica

Beneficio/Costo

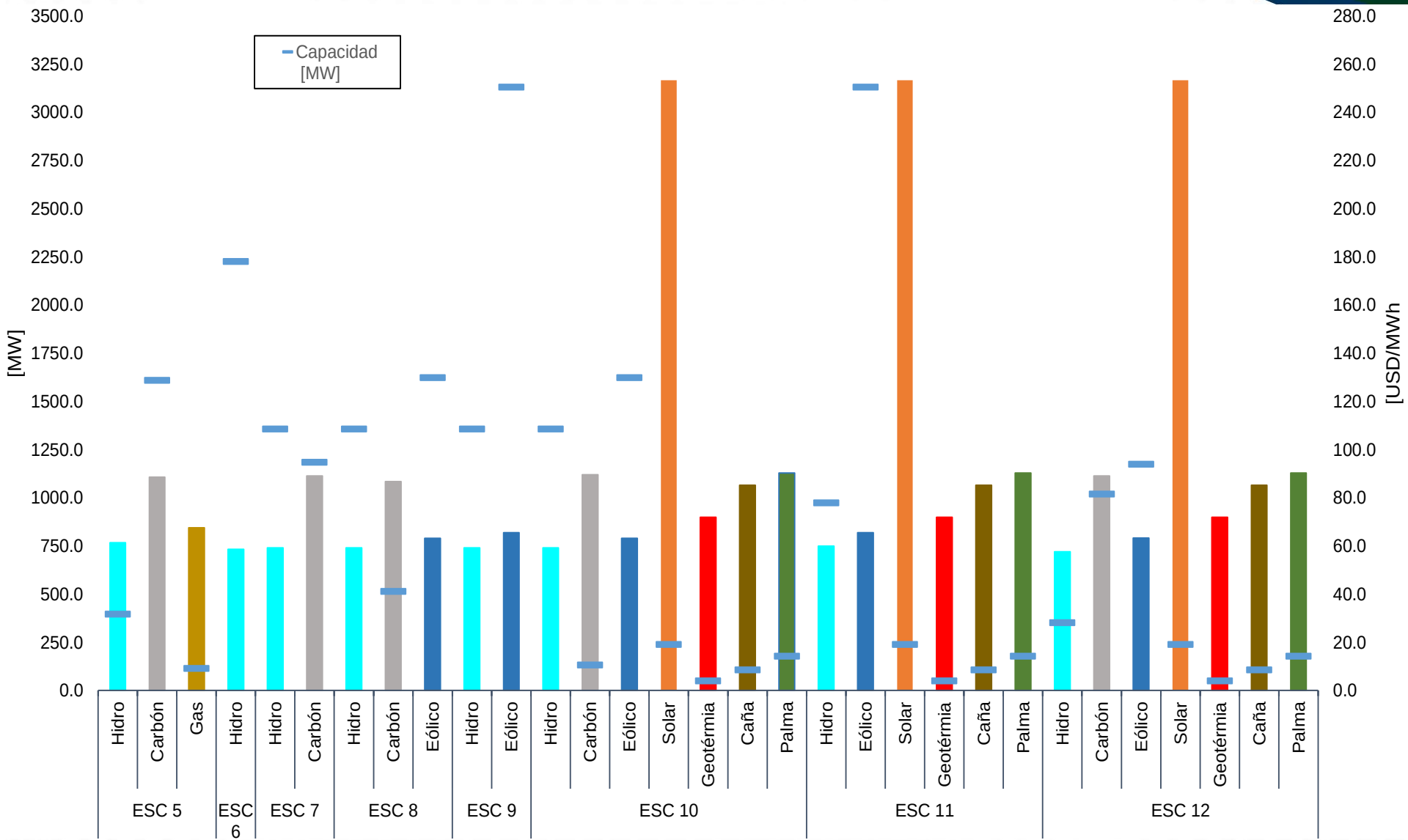
$$\frac{B}{C} = VPN \left(\frac{\sum_{i=1}^n E_{bi} (CM_{sproxy_i} - CM_{cproxy_i}) + \sum_{i=1}^n \left\{ E_{ci} \sum_{q \in PER(q,i)} \sum_{i \in PER(i,q)} \left(\frac{(CM_{sproxy_i} - CM_{cproxy_i})}{ni} \right) \right\}}{C_{red}} \right)$$

Beneficio y Costo incorporación recurso eólico

Bloque	Reducción del costo Marginal promedio USD/MWh
981	4.3
1381	5.4
2301	7.3
3131	8.1



Evaluación económica



Agenda

- **Plan de Expansión en Generación**

- ✓ Escenarios Largo Plazo
- ✓ Índices de desempeño

- Ubicación del recurso-caso eólico península Guajira

- Análisis energéticos

- Metodología emplazamiento subestación(es) Colectora(s)

- Análisis eléctricos-desarrollo de red

- Evaluación económica

- **Retos asociados a la operación y administración del mercado con la incorporación de energías renovables**

- Ajustes regulatorios

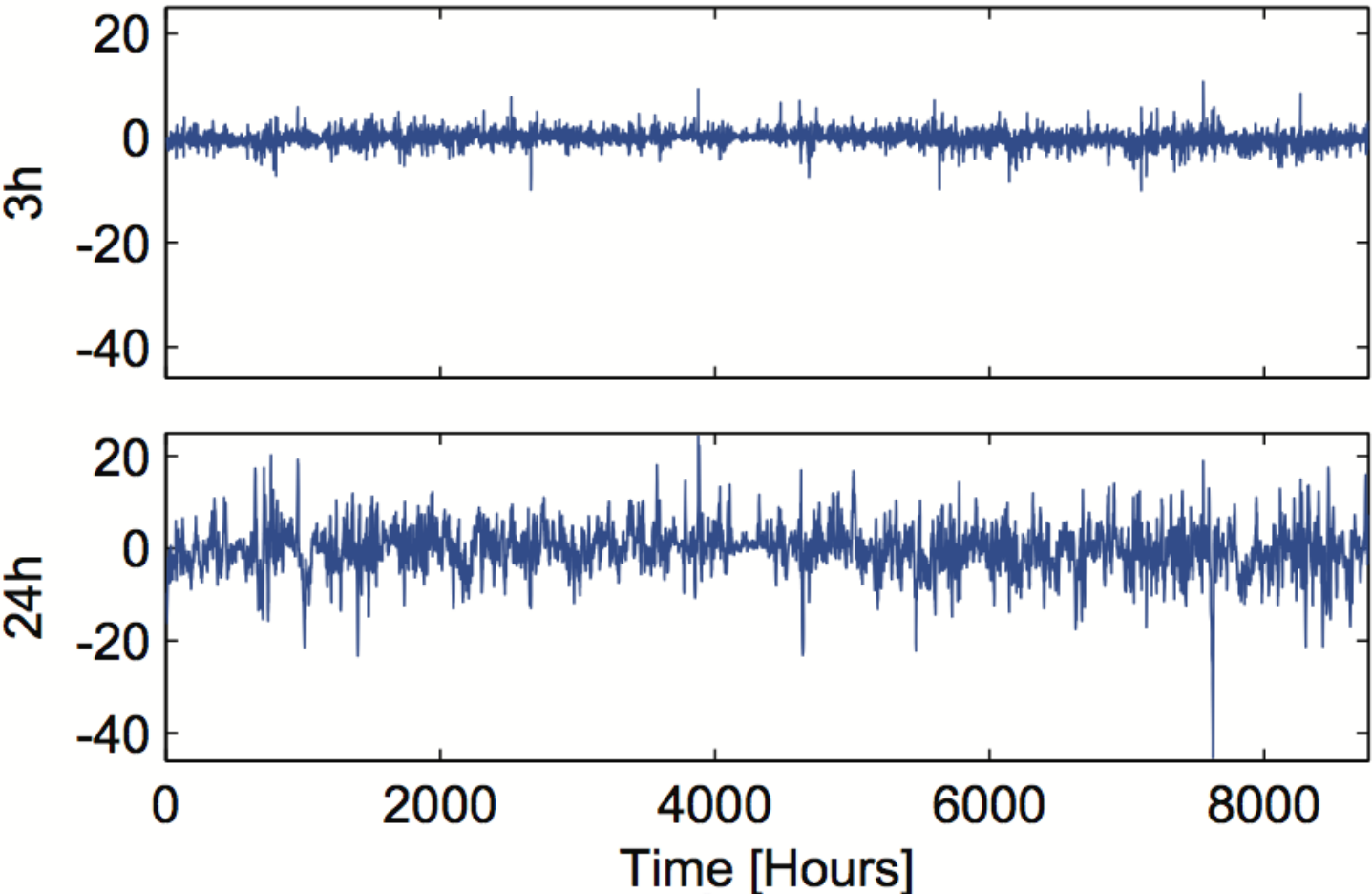
Retos asociados a la incorporación del recurso eólico

- Ajuste al código de Conexión, Planeación y Medida, donde se establezcan las características técnicas de incorporación de las Fuentes Renovables No Convencionales, principalmente el recurso eólico. Asimismo, determinar los atributos mínimos de los aerogeneradores a incorporar en el SIN.
- Aspectos operativos y de administración del mercado: establecimiento de nuevos criterios operativos, como: **i)** definición de límites dinámicos de transferencias, **ii)** restricciones probabilísticas, **iii)** mercados intradiarios, **iv)** pronóstico de generación renovable en la operación en tiempo real, **v)** implementación de una red de medida de los recursos intermitentes, **vi)** mercados de reservas, **vii)** nuevas reglas para el despacho centralizado, etc.
- Monto y oportunidad en garantías asociadas a las expansiones en transmisión, relacionadas con la conexión de proyectos de generación: buscar simetría en los montos a garantizar y establecer la certidumbre de los proyectos de manera temprana.
- Alcance a la definición de activos de USO y CONEXIÓN: no solo se debe referenciar al mecanismo de remuneración.
- **Propiedad y uso del recurso**



Retos asociados a la incorporación del recurso eólico

Figure 7.1: Aggregated wind power production forecast error [GW] for the modelled area in 2020



NTNU – Trondheim
Norwegian University of
Science and Technology

Retos asociados a la incorporación del recurso eólico

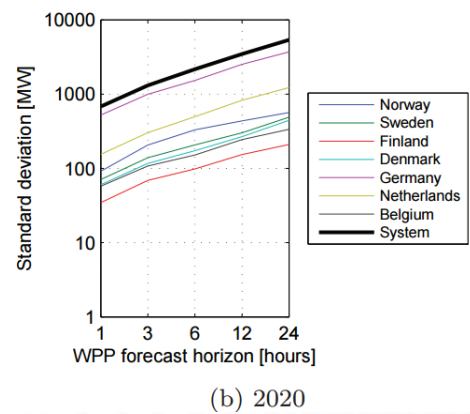
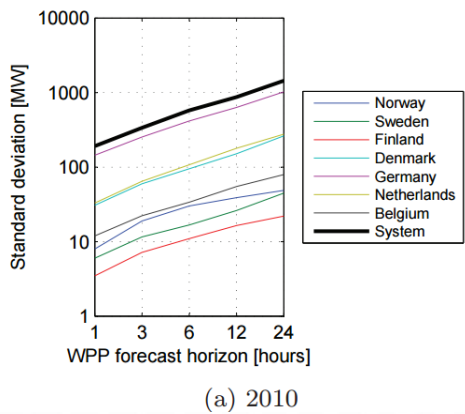
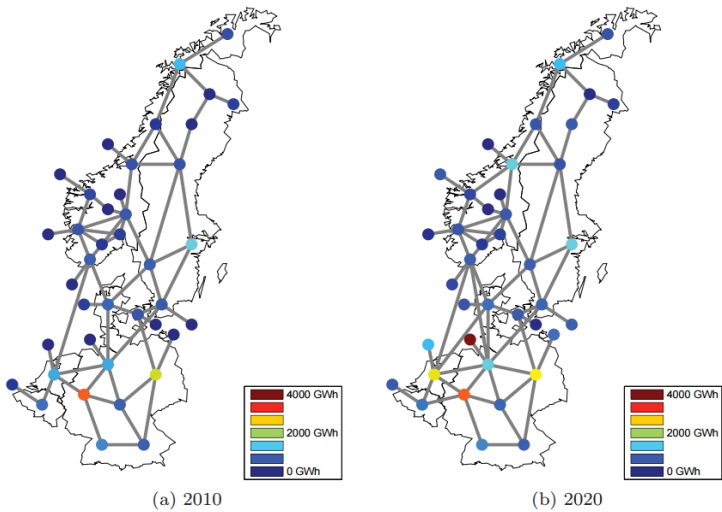
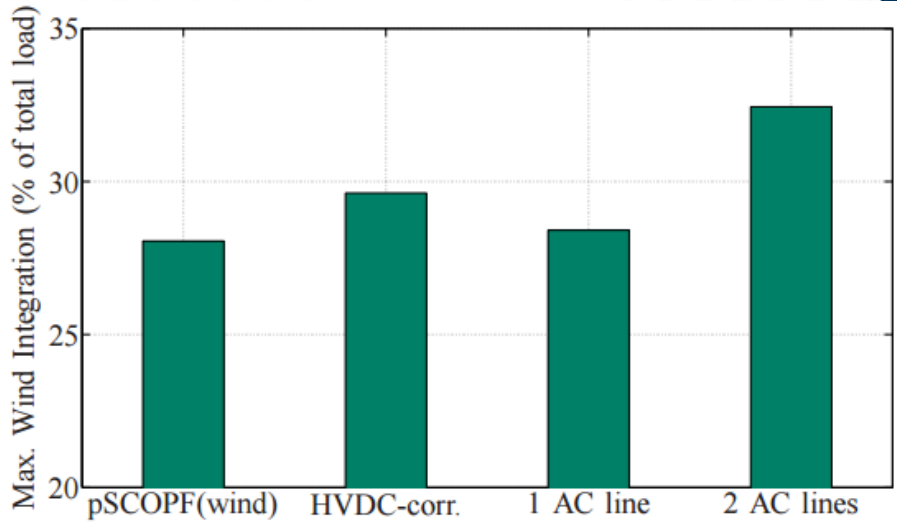
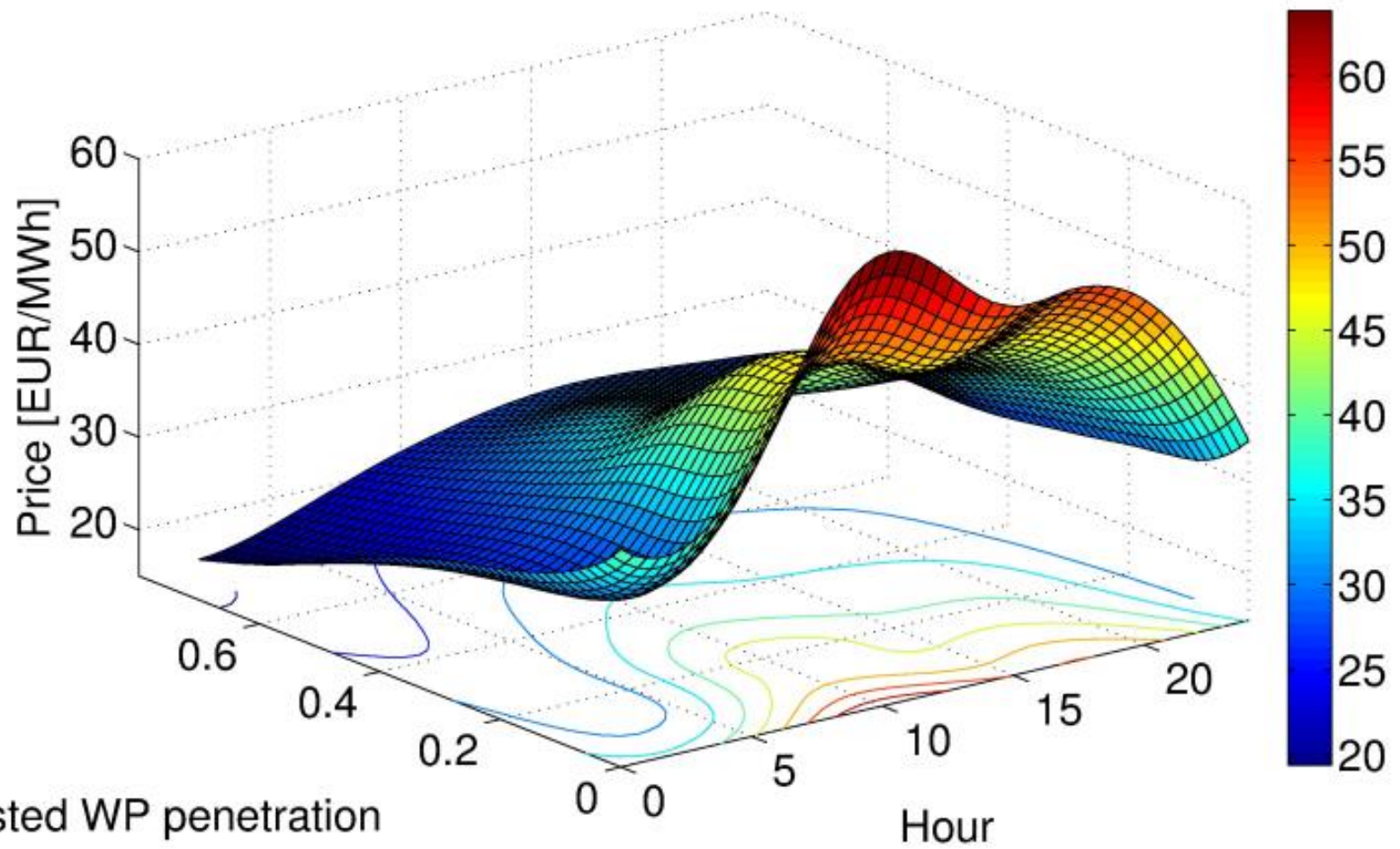


Figure 8.2: Annual system imbalance with a 6h WPP forecast horizon

Retos asociados a la incorporación del recurso eólico

R. J. W. A.



Retos asociados a la incorporación del recurso eólico

Controlabilidad de la intermitencia con tecnología VSC

TABLE II
SIMULATION SCENARIOS

Scenario	Installed Capacity of RES	Share of RES	Tot. System Inertia H	Control Type
1. no RES	–	–	6.29 1/s	no
2a. RES normal	72.66 GW	21%	4.96 1/s	no
2b. RES normal	72.66 GW	21%	4.96 1/s	local
2c. RES normal	72.66 GW	21%	4.96 1/s	MPC
3a. RES high	116.85 GW	32%	4.20 1/s	no
3b. RES high	116.85 GW	32%	4.20 1/s	local
3c. RES high	116.85 GW	32%	4.20 1/s	MPC



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

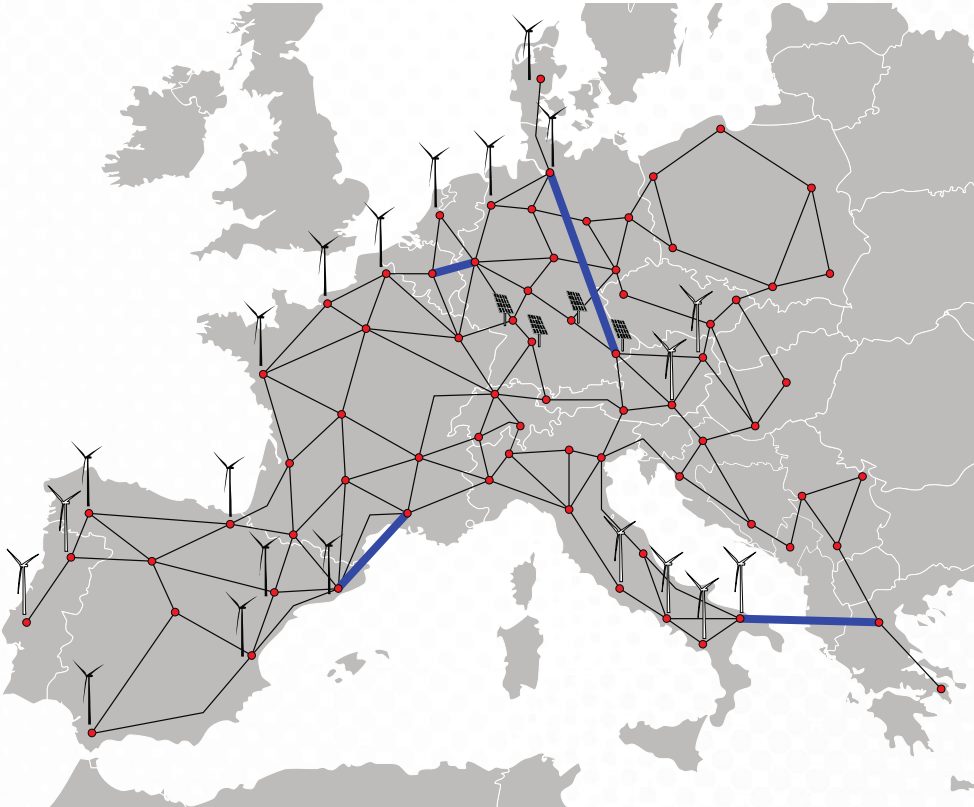
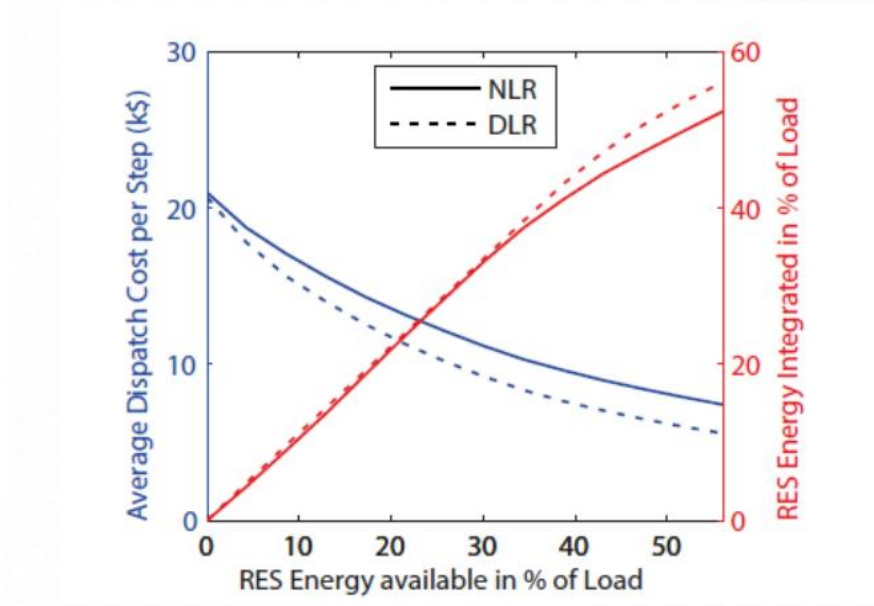
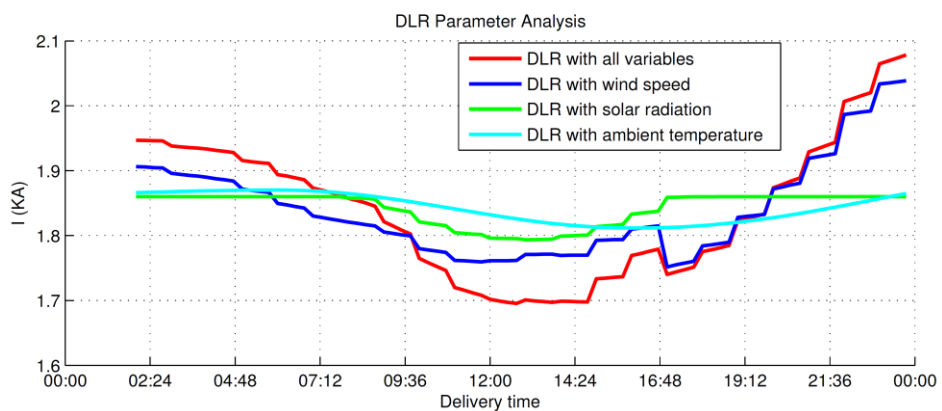
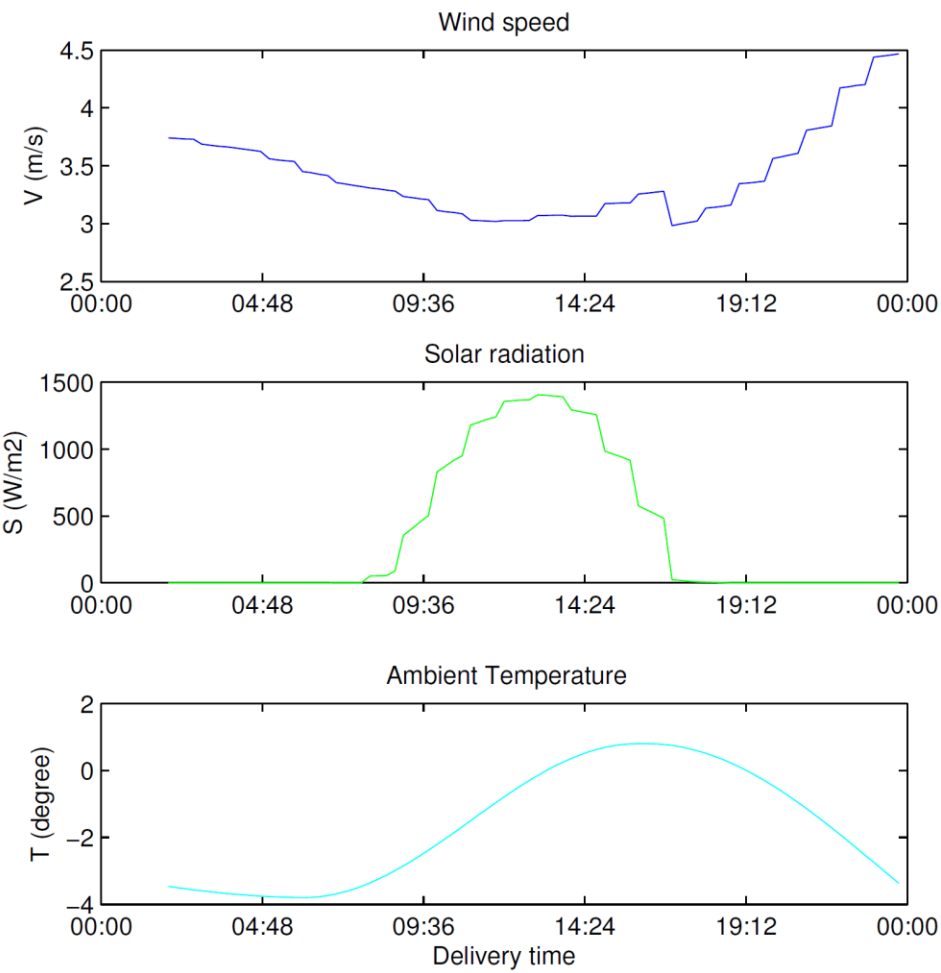
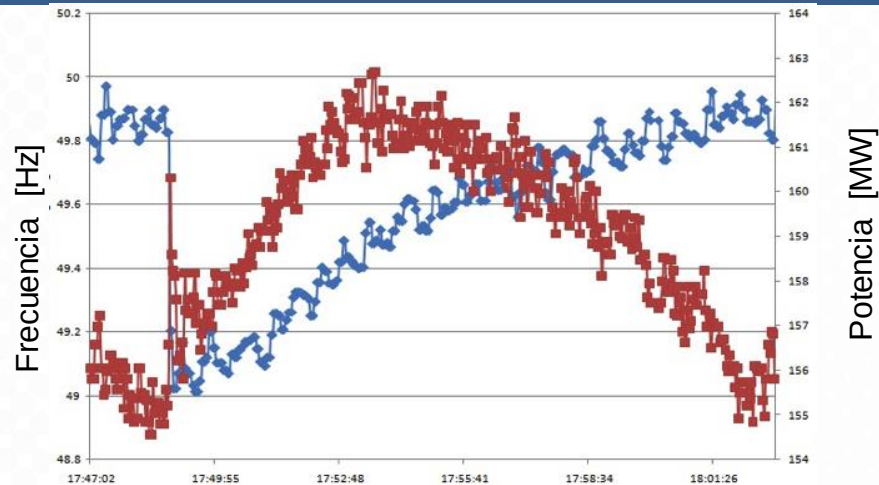


Fig. 1. European dynamic test system. Black lines represent AC lines, and bold blue lines VSC-HVDC connections.

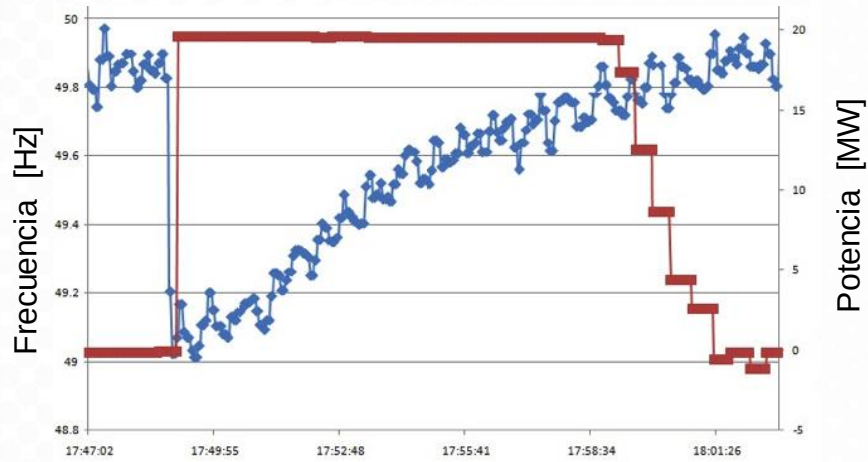
Retos asociados a la incorporación del recurso eólico



Retos asociados a la incorporación del recurso eólico



- La Unidad de generación térmica responde con un pico de potencia, para luego caer y posteriormente incrementarse con fuertes oscilaciones.



- Battery Energy Storage System (BESS) responde con un incremento instantáneo.
- Respuesta automática programable.
- La inyección se sostiene hasta que el sistema de potencia se recupera.

Agenda

- **Plan de Expansión en Generación**

- ✓ Escenarios Largo Plazo
- ✓ Índices de desempeño

- Ubicación del recurso-caso eólico península Guajira

- Análisis energéticos

- Metodología emplazamiento subestación(es) Colectora(s)

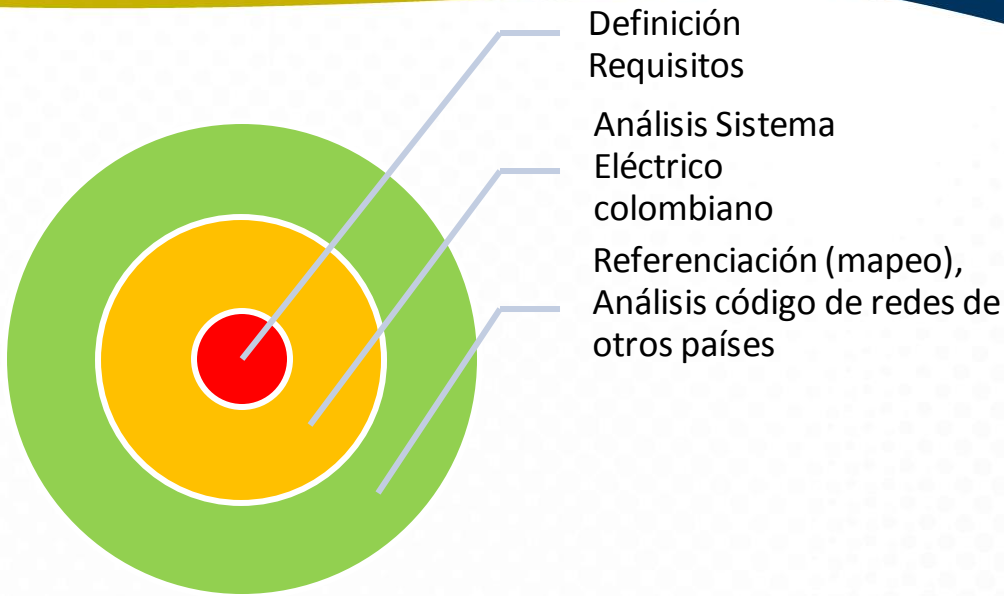
- Análisis eléctricos-desarrollo de red

- Evaluación económica

- Retos asociados a la operación y administración del mercado con la incorporación de energías renovables

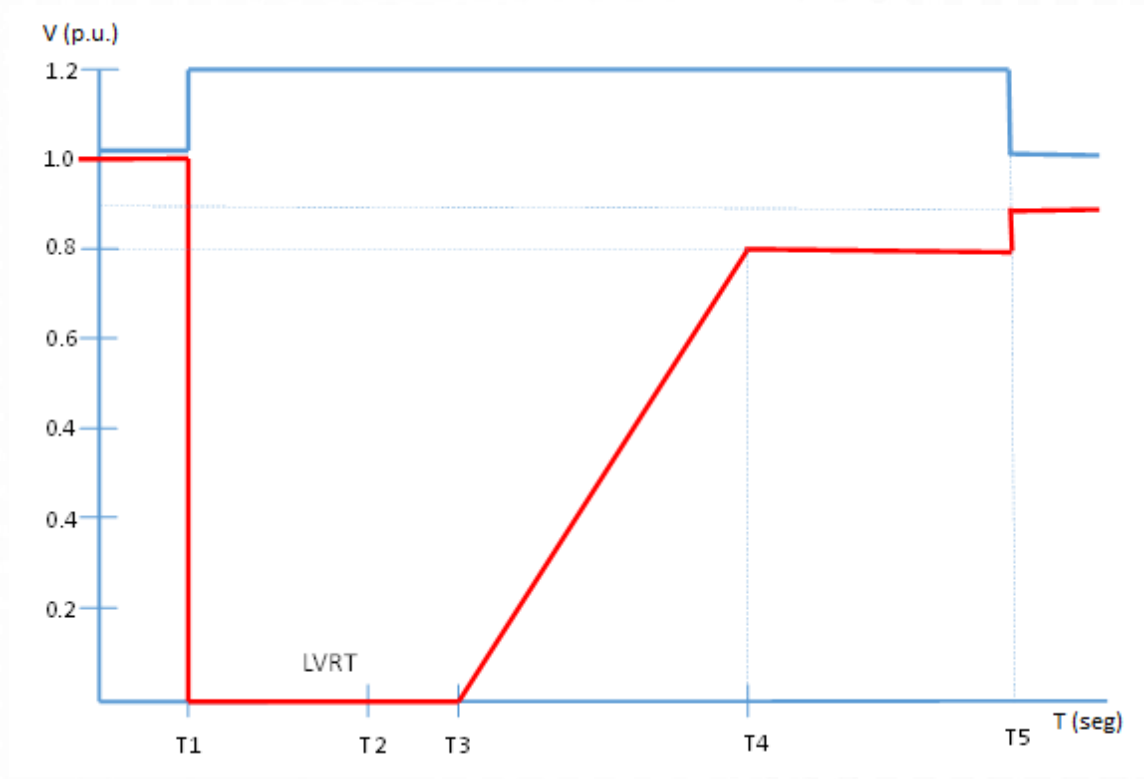
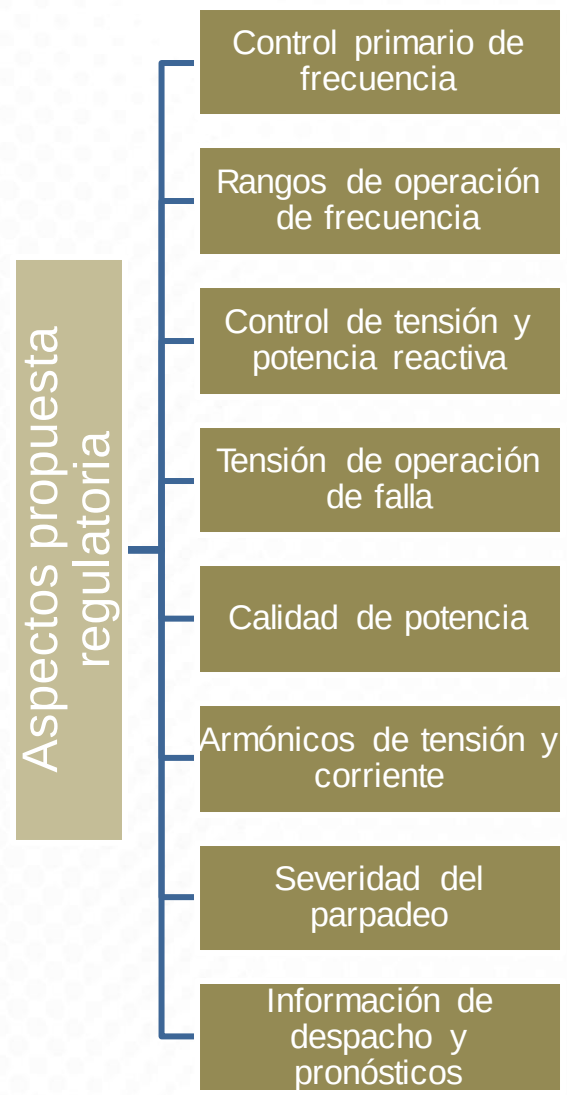
- **Ajustes regulatorios**

Ajustes regulatorios



Tolerancia	Control de Potencia Reactiva	Control de potencia activa y respuesta en frecuencia	Análisis relacionadas con protecciones	Calidad de Potencia
Teniendo en cuenta que una planta de generación eólica debe continuar operando frente a variaciones de tensión y frecuencia (de corto y largo plazo), esto debe estar acorde con el sistema eléctrico Colombiano	Es importante que los generadores eólicos tengan la posibilidad de participar en el control de tensión de la red mediante la absorción o entrega de potencia reactiva	Para realizar control de frecuencia los generadores convencionales realizan control de rotor , para el caso de parques eólicos se debe asegurar que se pueda control la potencia de entrega de la turbina. Así mismo se debe asegurar un control de la respuesta en frecuencia, se debe asegurar control primario y secundario de frecuencia .	Se debe identificar que tipo de elementos deben tener este tipo de plantas en función de cómo es su desempeño, se debe asegurar que se tenga una mínima desconexión de equipos de generación preservando la integridad de quipos y el menor impacto de la red.	Esto involucra diferentes aspectos tales como armónicos, fluctuaciones de voltaje, variaciones de voltaje, la norma IEC 614000-21 establece los requerimientos en calidad de potencia de las plantas de generación eólica.

Ajustes regulatorios



GRACIAS

www.upme.gov.co

 @upmeoficial  Upme (Oficial)
