



Planeación Integrada Generación-Transmisión en Colombia

Diego Mejía Giraldo

diego.mejia@udea.edu.co

Pereira, Septiembre 1 de 2016

Motivación PIGT

Productos

Diagnóstico STN

Metodología PIGT

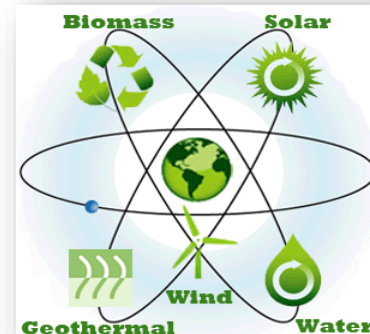
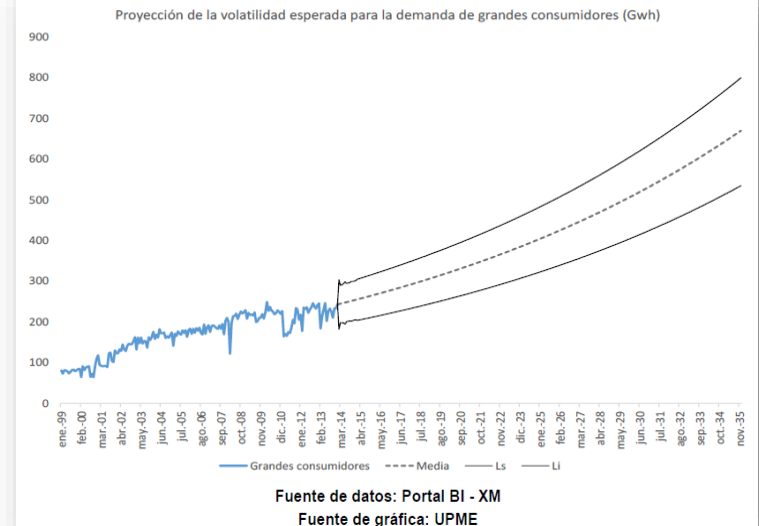
Crecimiento continuo de la demanda.

Requerimientos ambientales acotan opciones de expansión.

Avances importantes en nuevas tecnologías de generación a pequeña escala.

Desarticulación entre las señales de expansión de transmisión y generación.

Gráfica 2-13: Proyección de la volatilidad esperada para la demanda de grandes consumidores (GWh)



Diseñar e implementar una metodología para la planeación integral G-T en Colombia, considerando aspectos relevantes en el proceso de toma de decisiones como las incertidumbres más determinantes, la regulación colombiana, y los recursos de GD y GL.

Entregable 1: Estado del arte

- GD y GL (normativas, costos), costos de generación, demanda, almacenamiento.
- Metodologías de planeación
- Tendencias

Entregable 2: Informe técnico SIN actual

- Análisis de un caso de estudio del SIN.
- Análisis eléctricos (Neplan).
- Métricas de desempeño.

Entregable 3: Análisis regulatorio en Colombia

- Análisis y propuestas de mecanismos (regulatorios, técnicos, de mercado) para incentivar GD y GL.

Entregable 4: Herramienta PIGT

- Evaluación de GD y GL para la expansión (determinístico y con incertidumbre)
- Modelo matemático, códigos en gams, manual, y talleres.

Referenciamiento internacional



Brasil

- Alto crecimiento FNCE, licitaciones de FNCE y activos transmisión.
- Reglamentación para las FNCE y la autogeneración.
- Experiencias en el desarrollo de infraestructura orientada a las FNCE.
- Cuenta con más de 150 GW de GD. Mayoritariamente eólica.

España

- Desarrollo relevante de FNCE y nuevas tecnologías.
- Políticas de planificación a nivel nacional y Comunidad Europea (ENTSO) en FNCE y Redes Inteligentes.
- Experiencias en los estímulos a la inversión (señales de Gobierno/Estado).

Chile

- Alto crecimiento FNCE, nuevas tecnologías (Baterías y mareomotriz factibles).
- Reglamentación para las FNCE, autogeneración "Net-Metering".
- Experiencias en los costos y capacidad de adaptación del Sistema de potencia.

México

- Reestructuración del sector eléctrico.
- Alto potencial de crecimiento FNCE.
- Reglamentación para las FNCE y la autogeneración.

USA (MISO)

- Desarrollo relevante de FNCE y nuevas tecnologías.
- Políticas de planificación a nivel de estado y Federal en FNCE y Redes Inteligentes.
- Experiencias en los estímulos a la inversión (señales del mercado).

Estrategias de planeación

- GL: generación localizada. Grandes proyectos de generación.
- GD: generación distribuida. Pequeños proyectos, especialmente PCHs.
- RD: respuesta de la demanda. Reducción niveles de consumo grandes cargas.

Escenarios de generación

- Evaluación del desempeño del sistema ante diferentes condiciones operativas.
- Diferentes patrones de generación producen diferentes niveles de cargabilidad sobre líneas y transformadores.

Diagnóstico SIN 2015

- Análisis de severidad de contingencias N-1.
- Contingencias sobre todas las líneas y transformadores (excepto líneas radiales y trafos de generación).

Indicadores

- Evaluación cuantitativa del impacto de GL, GD, RD.
- Identificación de peores condiciones operativas, contingencias más críticas, elementos más afectados.

Áreas operativas STN e Intercambios típicos



- ✓ Capacidad efectiva neta instalada de 15,489 MW.
- ✓ La demanda máxima actual, considerando exportaciones, es de 10733,4 MW.
- ✓ El SIN abarca el 60% del territorio colombiano garantizando cerca del 96% de la demanda del país, el restante 4% corresponde a las demandas en las Zonas no Interconectadas.
- ✓ El 64% de la capacidad instalada corresponde a generación hidráulica, mientras el 31% corresponde a generación térmica y el 5% a otras tecnologías.

Diagnóstico STN

Procedimiento adaptado de los informes del operador,

Se construyen 65 escenarios fundamentados en la hidrología,

Para cada escenario, se encuentra el despacho económico,

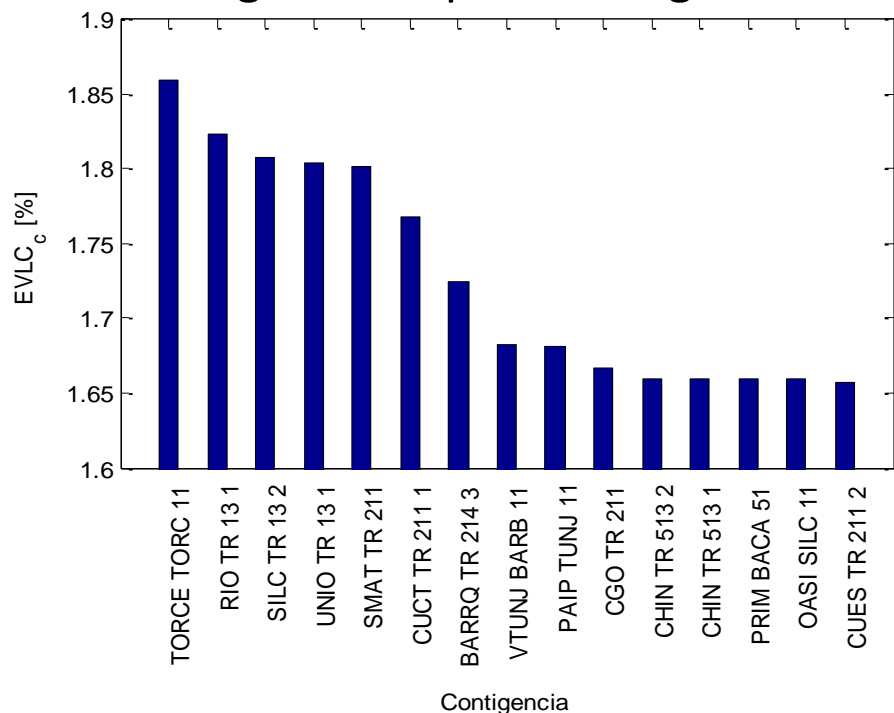
Se propone emplear “pseudo-probabilidades”

- un escenario P ocurre el 70% de las veces,
- un escenario PP ocurre el 25% de las veces,
- un escenario MPP ocurre el 5% de las veces.

Escenario	Descripción	Precio de oferta		Tipo de escenario		
		Normal	Escasez	MPP	PP	P
5	Plantas térmicas del área caribe despachadas en sus máximos operativos.	x		x		
49	Generación Hidráulica de Antioquia generando al máximo y el área Caribe generando al mínimo.	x				x

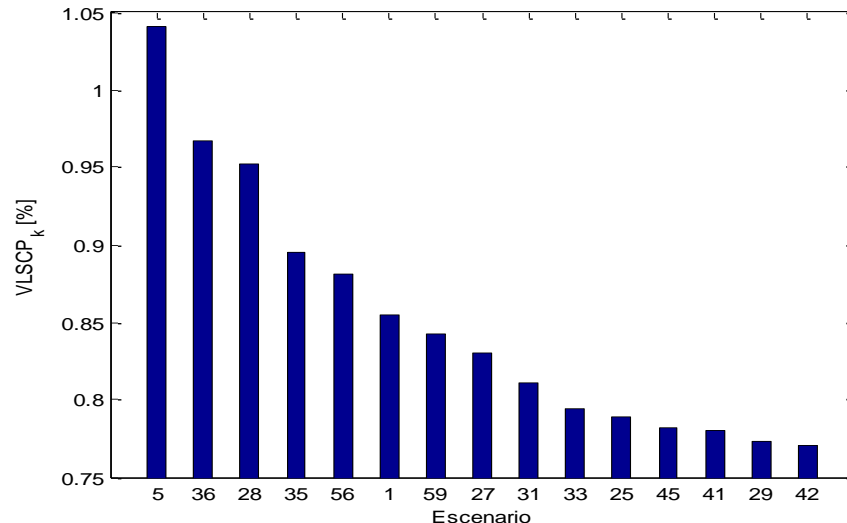
Análisis Cargabilidad Red Base (STN 2015)

Valor esperado de violación del límite de cargabilidad por contingencia



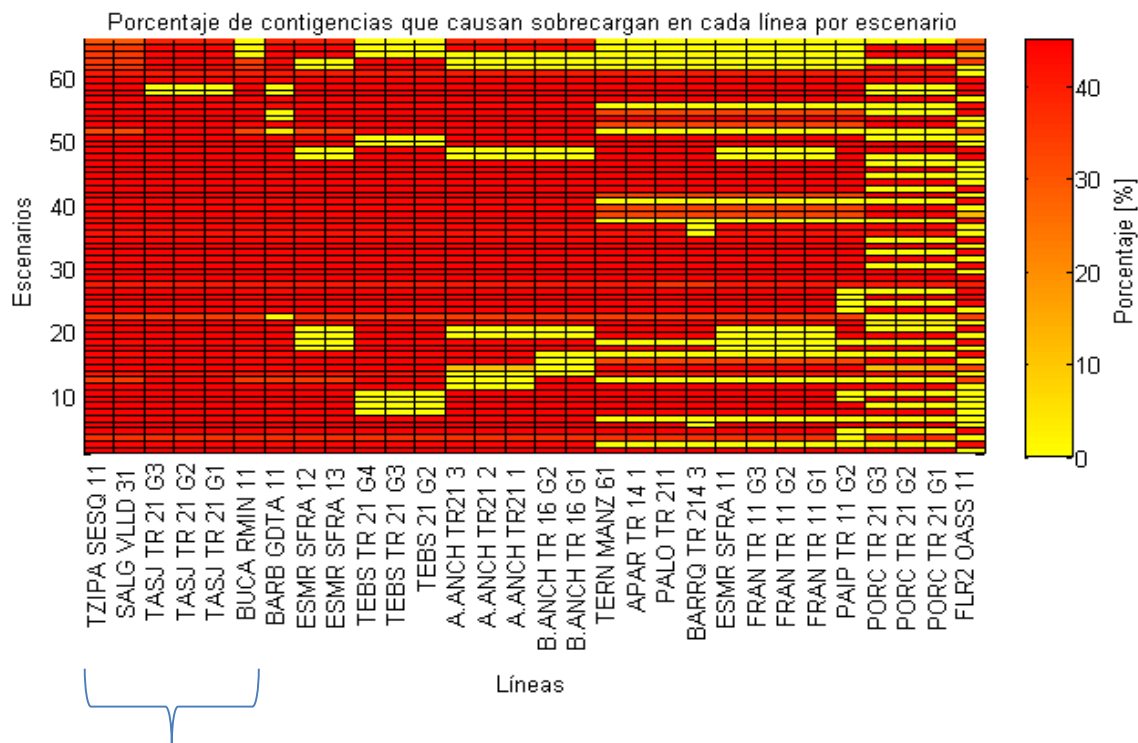
Torce-Torca: línea 115 kV, 100m de longitud.
Transporta 330MW+ en d. máxima.

Violación del límite de cargabilidad promedio por escenario



Escenario 5 es crítico por altos flujos en Caribe (donde hay déficit de transmisión 110 kV)
Escenario 36 y 28 (Chivor y Guavio en mínimos técnicos, altos flujos entre Antioquia y Oriental)

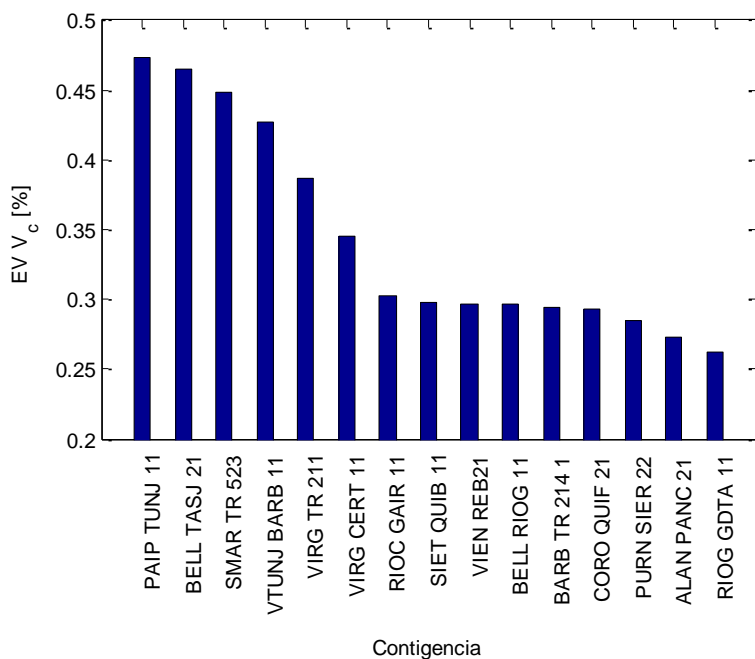
Porcentaje de contingencias que causan sobrecargas en cada línea por escenario



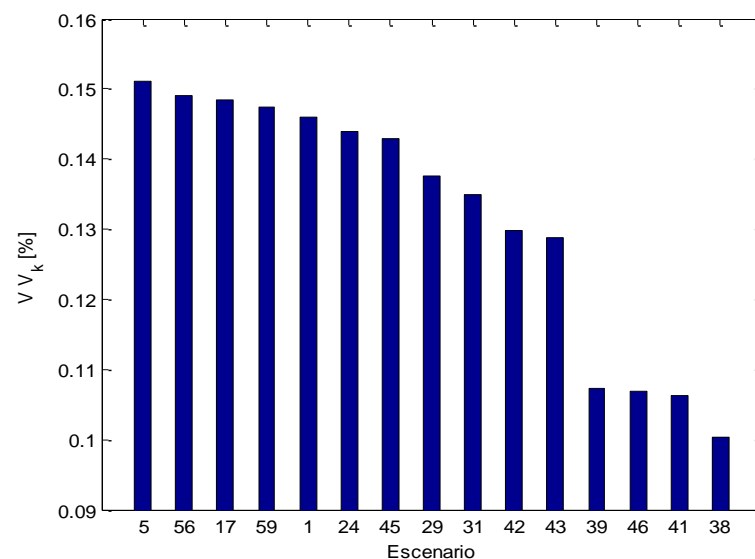
Líneas que resultan afectadas en un porcentaje alto de contingencias en casi todos los escenarios

Análisis Tensiones Red Base (STN 2015)

Valor esperado de violación del límite inferior de voltaje por contingencia



Violación del límite inferior de voltaje promedio por escenario

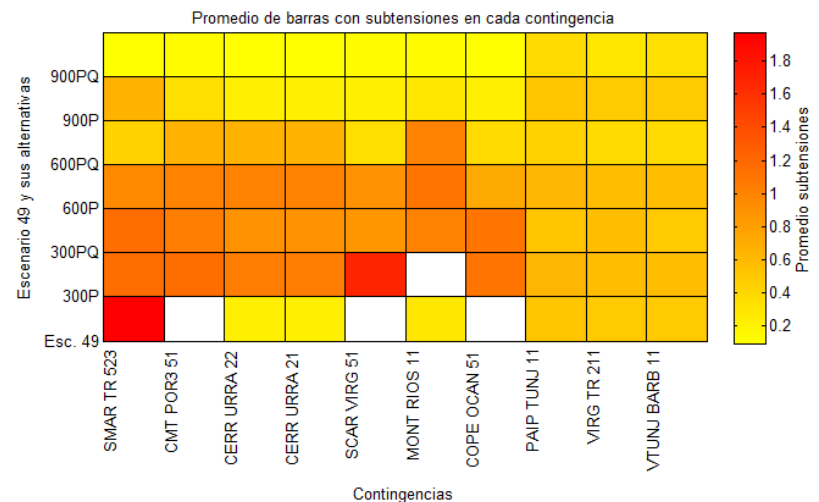


Escenario 5 es crítico por altos flujos en Caribe (donde hay déficit de transmisión 110 kV)
Escenario 36 y 28 (Chivor y Guavio en mínimos técnicos, altos flujos entre Antioquia y Oriental)

Según la Ley 1715 de 2014, GD se define como “la producción de energía eléctrica, cerca de los centros de consumo, conectada al Sistema de Distribución Local (SDL)”, es decir, equipos que operan en niveles de tensión menores a 57.5kV (Resolución 097 de 2008)

Descripción de las variantes para las alternativas con GD

Variante	Potencia activa (MW)	Potencia Reactiva (MW)	Etiqueta
1	300	0.0	300P
2	300	300	300PQ
3	600	0.0	600P
4	600	600	600PQ
5	900	0.0	900P
6	900	900	900PQ



En este trabajo, la GL se refiere a proyectos de generación destinados a resolver problemas específicos de la red.

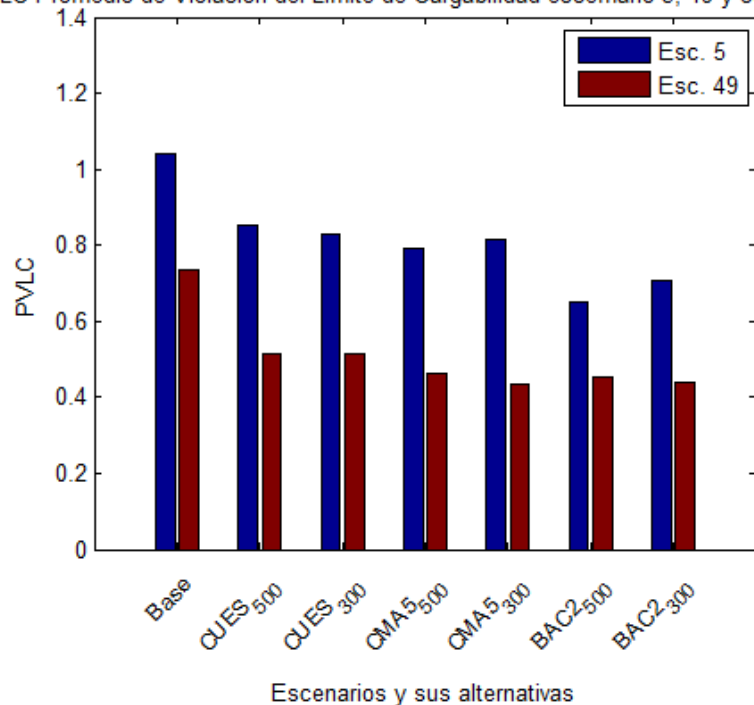
Para el análisis del impacto de GL se consideraron proyectos de generación en las zonas de la Guajira, Cerromatoso y Bogotá

Descripción de las variantes para las alternativas con GL

Variante	Nombre del generador	Ubicación	Capacidad (MW)	Etiqueta
1	G_CUES_Pr	Cuestecitas	500	CUES ₅₀₀
2	G_CUES_Pr	Cuestecitas	300	CUES ₃₀₀
3	G_CMA5_Pr	Cerromatoso	500	CMA5 ₅₀₀
4	G_CMA5_Pr	Cerromatoso	300	CMA5 ₃₀₀
5	G_BAC2_Pr	Bacatá	500	BAC2 ₅₀₀
6	G_BAC2_Pr	Bacatá	300	BAC2 ₃₀₀

Análisis Alternativas Expansión con GL

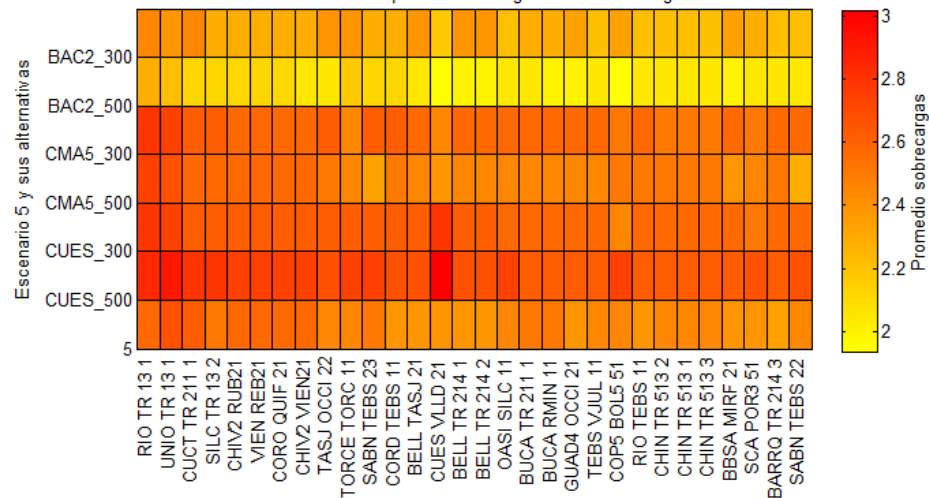
PVLC Promedio de Violación del Límite de Cargabilidad escenario 5, 49 y sus variantes



Un proyecto de 500 MW en Cuestecitas podría generar mayores sobrecargas post-contingencias que uno de 300 MW en el mismo lugar.

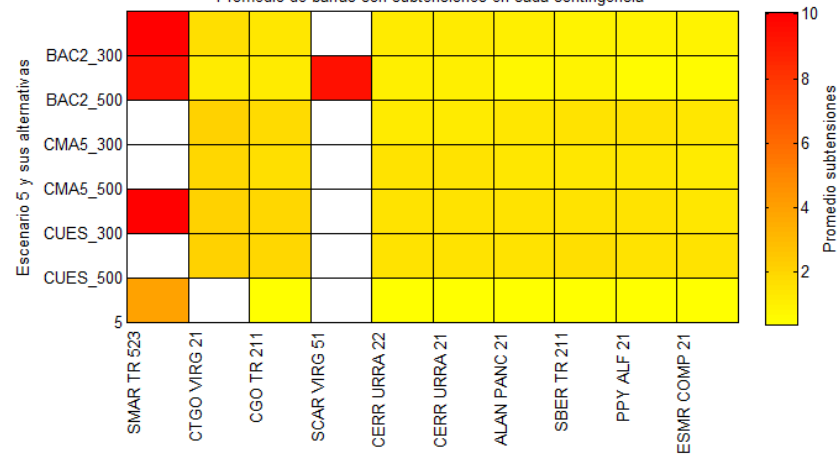
Para escenario térmico

Promedio de líneas que se sobrecargan en cada contingencia



Contingencias

Promedio de barras con subteniones en cada contingencia



Contingencias

En este trabajo, la RD consiste en cambios en los patrones de consumo de energía eléctrica de los usuarios, como consecuencia de la variación en los precios de energía a lo largo del día, o respuesta a incentivos para reducir precios o aumentar la confiabilidad del sistema.

Para el análisis del impacto de RD se Se parte del supuesto de que los usuarios industriales y residenciales se pueden beneficiar de programas de RD desplazando el consumo en las horas de pico para horas fuera de pico

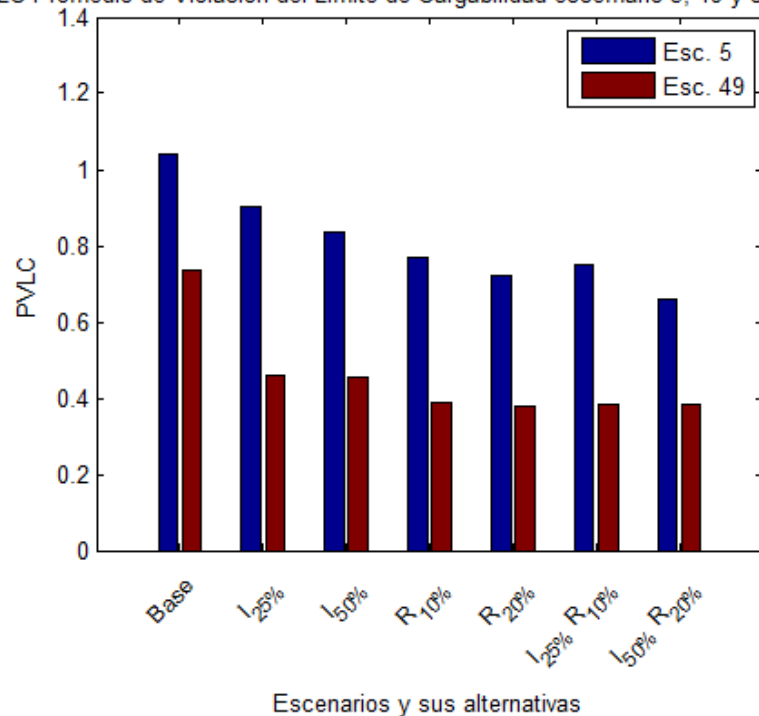
Descripción de las variantes para las alternativas con RD (reducción en consumo residencial e industrial en porcentaje)

Variante	Residencial (%)	Industrial (%)	Etiqueta
1	0.0	25	I _{25%}
2	0.0	50	I _{50%}
3	10	0.0	R _{10%}
4	20	0.0	R _{20%}
5	10	25	I _{25%} R _{10%}
6	20	50	I _{50%} R _{20%}

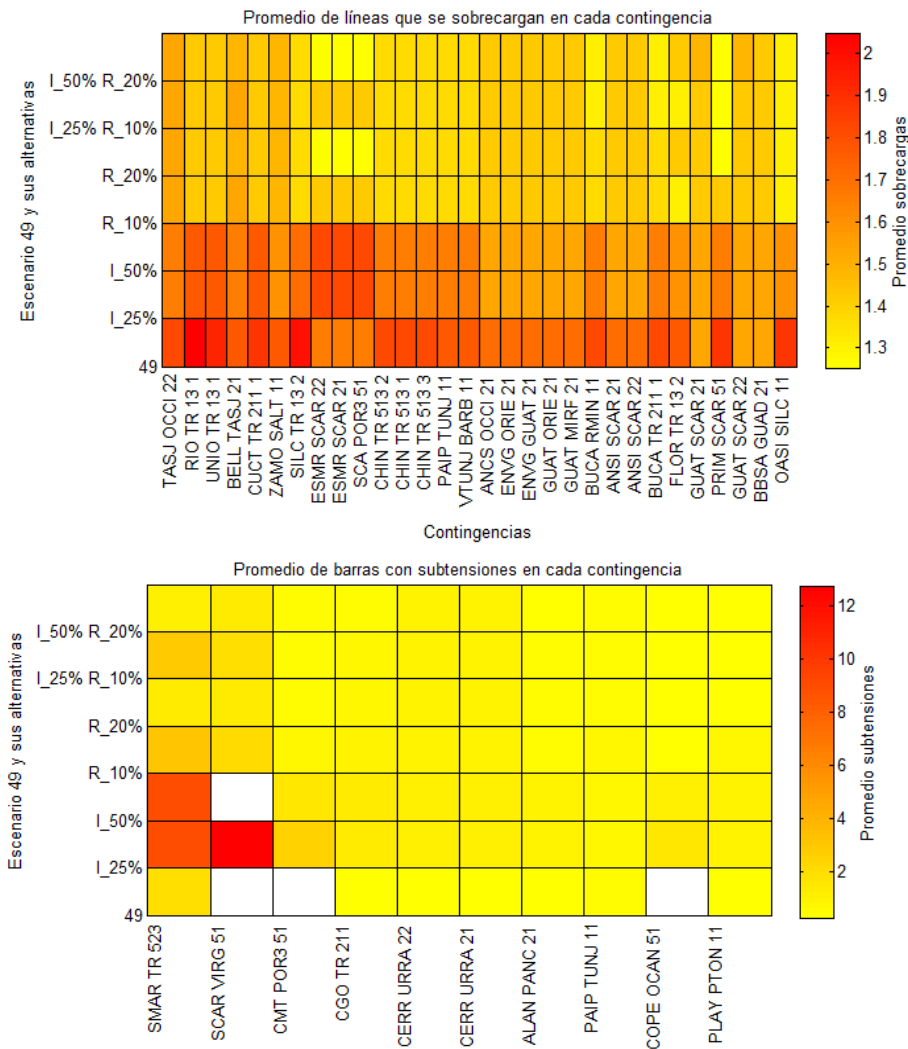
Impacto de RD

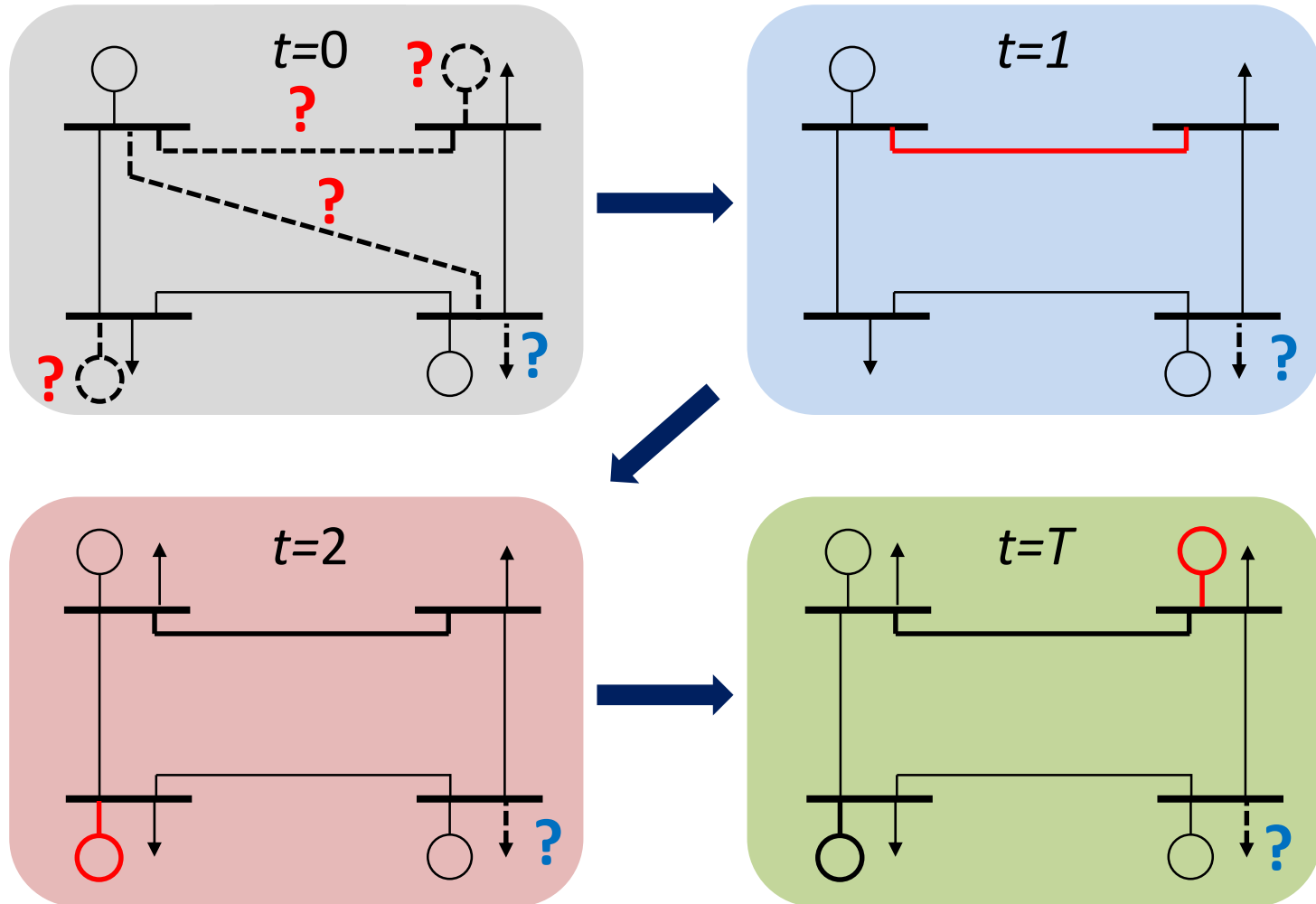
Análisis Alternativas Expansión con RD

PVLC Promedio de Violación del Límite de Cargabilidad escenario 5, 49 y sus variantes



Para escenario hidráulico





Crecimiento óptimo del STN

PIGT - especificaciones



Atención continua de la demanda en todo el horizonte

Uso eficiente de recursos existentes y futuros

Satisfacción de ciertas restricciones de seguridad

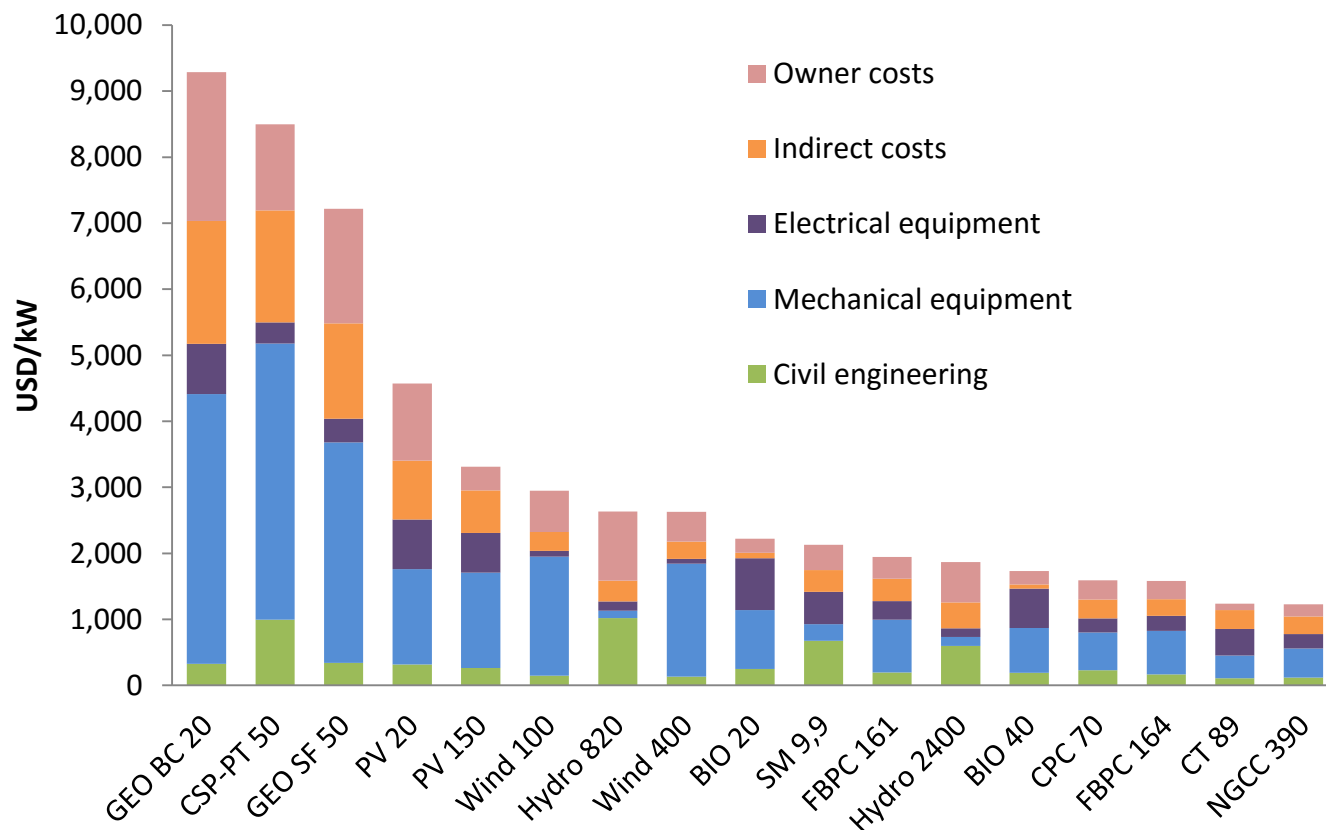
Modelamiento especial de recursos hidráulicos existentes

Balance entre costos de inversión, O&M, y combustibles

Mejor selección posible de candidatos G-T de expansión

Robustez ante escenarios operativos críticos

Costos Generación



Tomado de *Proyecto Costos Nivelados de Generación en Colombia, 2015*

Costos Generación

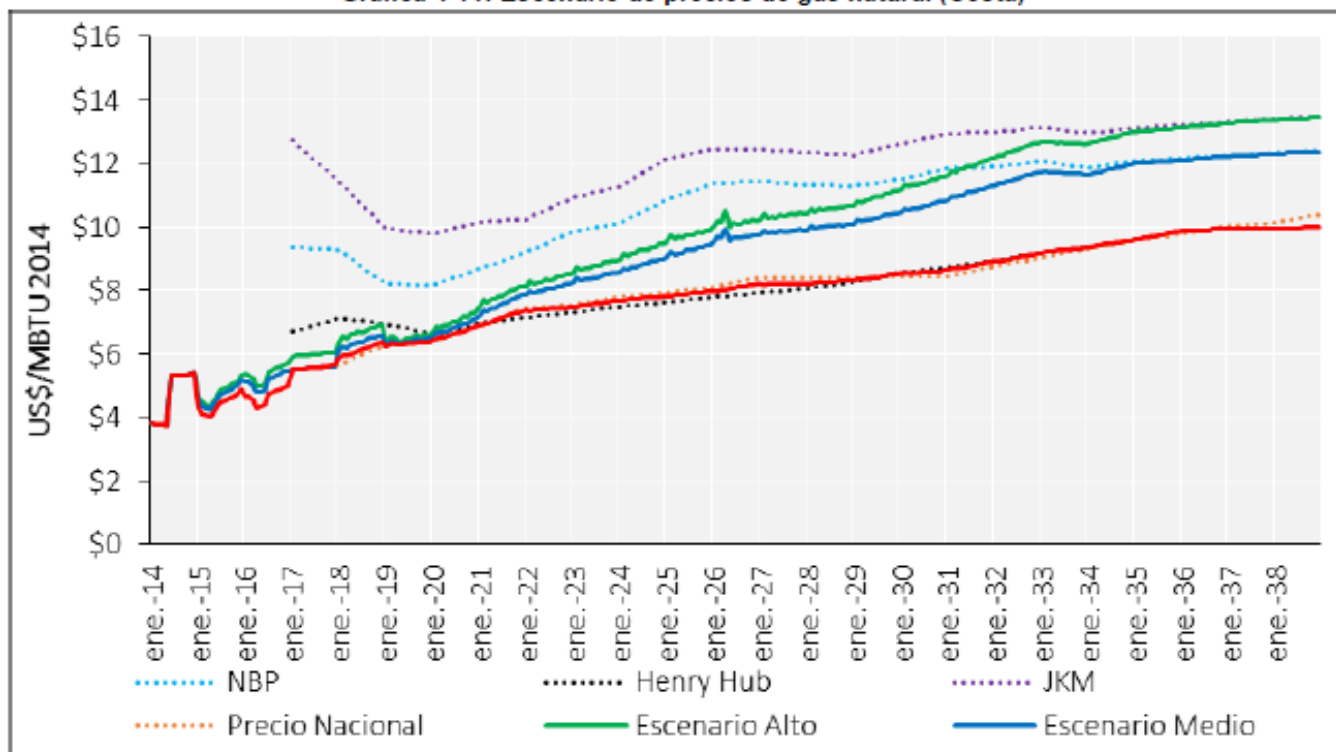
U.S. Capacity-Weighted¹ Average LCOE (2015 \$/MWh) for Plants Entering Service in 2022

Plant Type	Capacity Factor (%)	Levelized Capital Cost	Fixed O&M	Variable O&M (including fuel)	Transmission Investment	Total System LCOE	Levelized Tax Credit	Total LCOE including Tax Credit ²
Dispatchable Technologies								
Advanced Coal with CCS ³	N/B							
Natural Gas-fired								
Conventional Combined Cycle	87	12.8	1.4	41.2	1.0	56.4	N/A	56.4
Advanced Combined Cycle	87	15.4	1.3	38.1	1.1	55.8	N/A	55.8
Advanced CC with CCS	N/B							
Conventional Combustion Turbine	30	37.1	6.5	58.9	2.9	105.4	N/A	105.4
Advanced Combustion Turbine	30	25.9	2.5	61.9	3.3	93.6	N/A	93.6
Advanced Nuclear	90	75.0	12.4	11.3	1.0	99.7	N/A	99.7
Geothermal	91	27.8	13.1	0.0	1.4	42.3	-2.8	39.5
Biomass	N/B							
Non-Dispatchable Technologies								
Wind	42	43.3	12.5	0.0	2.7	58.5	-7.6	50.9
Wind – Offshore	N/B							
Solar PV ⁴	26	61.2	9.5	0.0	3.5	74.2	-15.9	58.2
Solar Thermal	N/B							
Hydroelectric ⁵	60	54.1	3.1	5.0	1.5	63.7	N/A	63.7

Tomado de “Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2016”, EIA, Agosto 2016.

Precios Combustibles

Gráfica 4-11: Escenario de precios de gas natural (Costa)



Fuente de datos: DOE-EIA, Wood Mackenzie y Cálculos Propios.

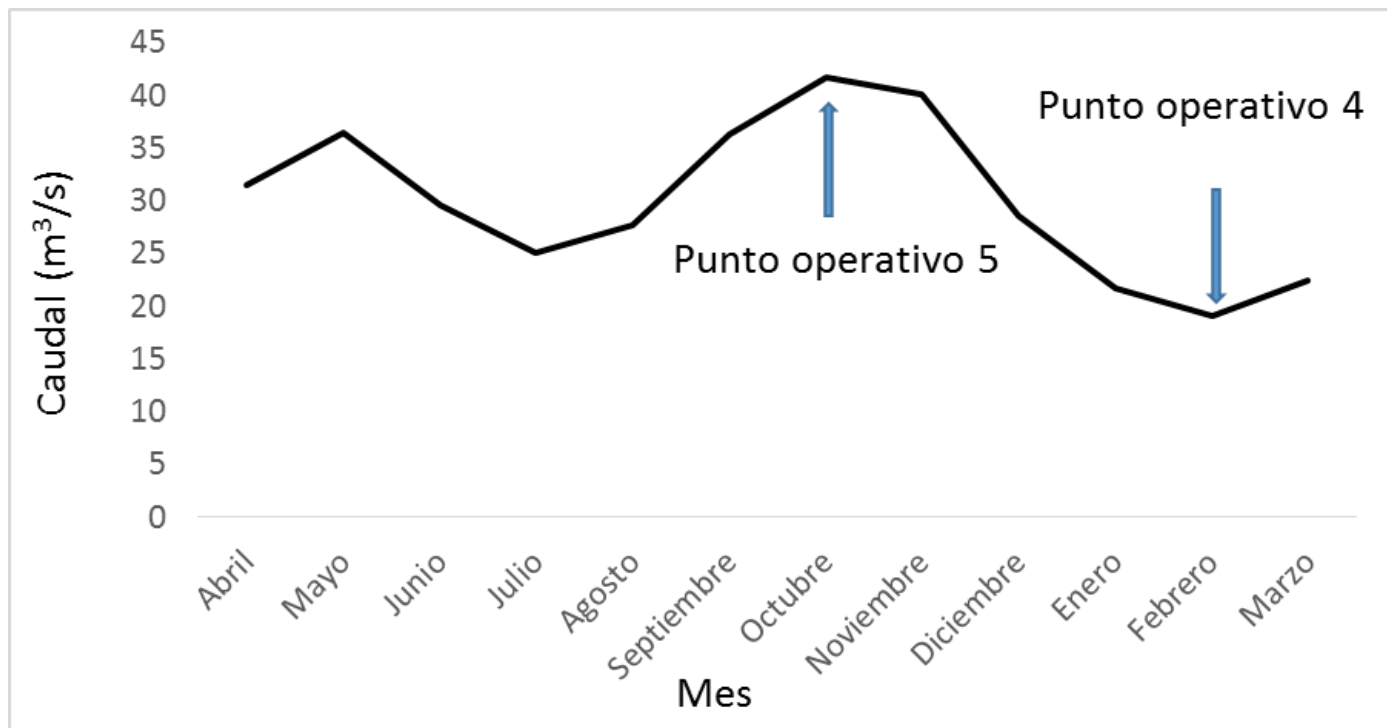
Fuente de gráfica: UPME.

Tomado de “Plan de Expansión de la UPME”, 2015.

Aportes hidrológicos y condiciones críticas

Consideración especial de meses húmedos y secos (condiciones más críticas)

Aportes hidrológicos típicos



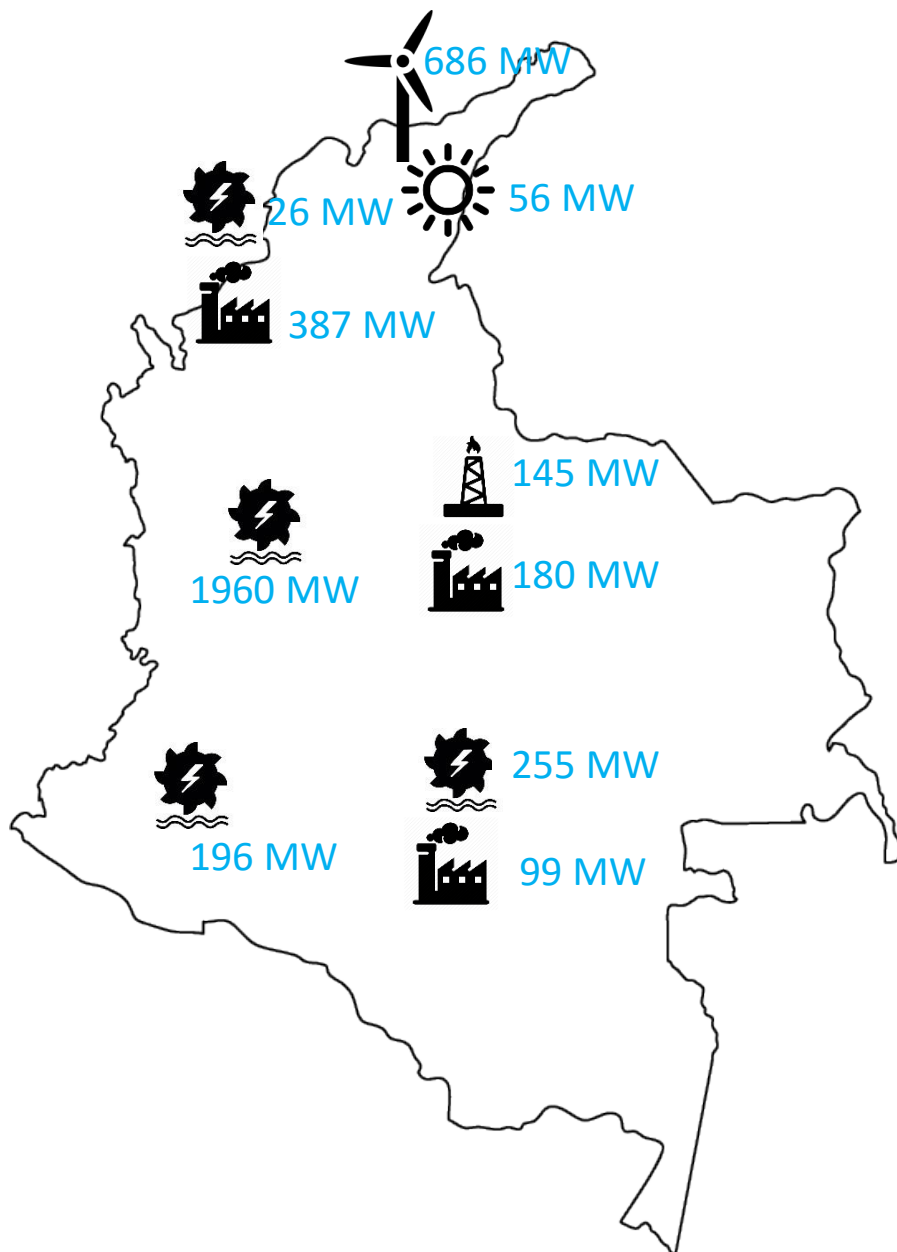
Proyectos Candidatos G

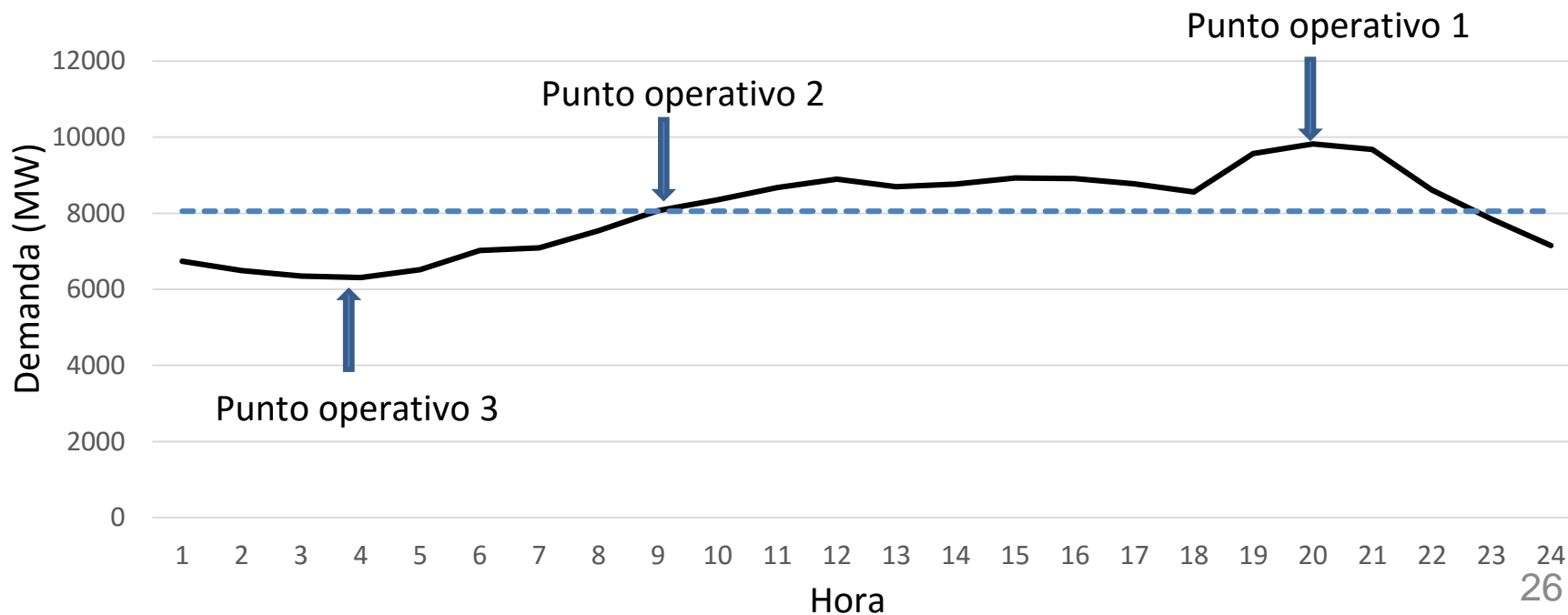
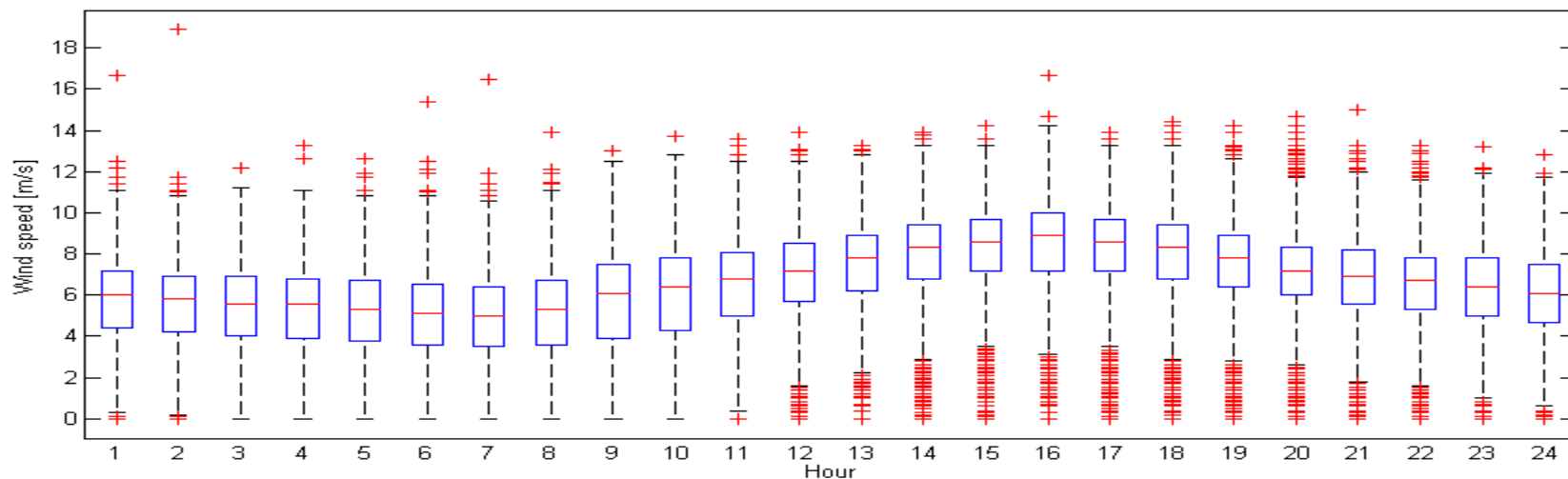
Aproximadamente:

- 65 proyectos hidráulicos
- 6 proyectos carbón
- 8 proyectos gas
- 6 proyectos eólicos
- 3 proyectos fotovoltaicos

Aproximadamente:

- 2435 MW hidráulicos
- 666 MW Carbón
- 145 MW Gas
- 686 MW Eólicos
- 56 MW Fotovoltaicos





Herramienta PIGT



Modelo Energético

- Recursos existentes
- Series hidrológicas
- Precios combustibles
- Demanda energía

*Despachos
Energía*



Modelo Expansión

- Selección óptima candidatos
- Disyuntivo (T)
- Variables continuas (G)
- Optimización MIP

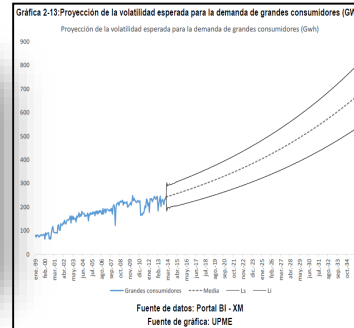
Herramienta PIGT



STN 2015



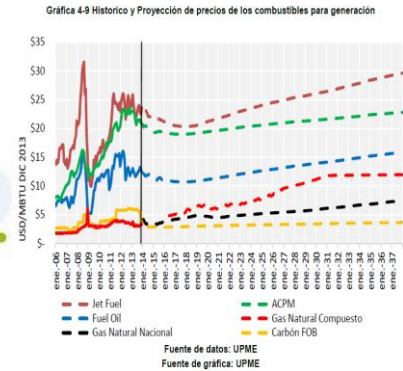
Restricciones
ambientales



Proyecciones
DEE



Renovables
(costos, recursos)



Proyecciones Precios
combustibles

Modelo Expansión PIGT (gams)

Plan de expansión G-T

-Dónde y cuánta G?
-Dónde y cuánta T?

Qué contiene la herramienta PIGT?



Minimizar costo inversión + costo operación a lo largo del horizonte de planeación

Balance generación y demanda para cada bloque de demanda.

Robustez ante ciertas puntos operativos y ciertas contingencias.

*Restricciones ambientales en **instalación** de nueva infraestructura trans/gen y en la **operación**.*

Disponibilidad de recursos energéticos por áreas.

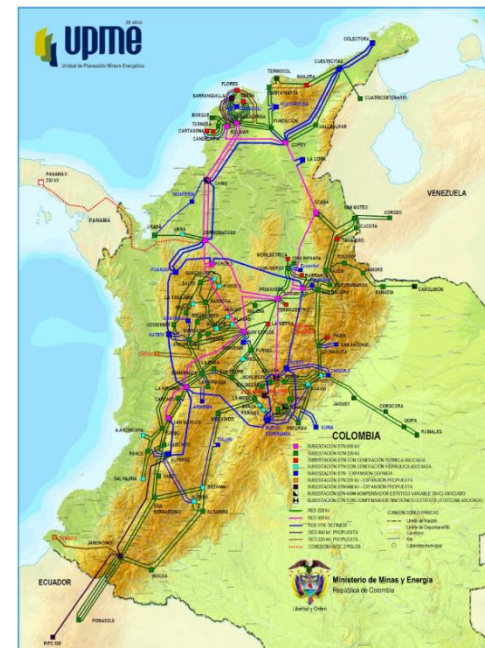
Resultados Esperados

Hoy

Futuro



Decisiones de
inversión en G-T



Confiabilidad (seguridad y suficiencia)

Sostenibilidad

Economía

Flexibilidad y robustez



Agradecimientos



COLCIENCIAS



**TODOS POR UN
NUEVO PAÍS**
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN



Grupo de Investigación
en Manejo Eficiente de
la Energía



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

1 8 0 3

Gracias!



**Universidad
de Antioquia**

Diego Mejía Giraldo
diego.mejia@udea.edu.co