



Perspectivas de las energías renovables en Colombia

Ángela Inés Cadena, José Lenin Morillo, Angélica Pedraza,
Javier José González y Alejandro Piñeros

Con la colaboración de Javier Rodríguez,
Ricardo Delgado, Mónica Espinosa y Miguel Velásquez

acadena@uniandes.edu.co, Universidad de los Andes

Agenda

- Panorama energético internacional y acciones de cambio climático
- Panorama energético nacional, políticas energéticas y de cambio climático
- Impactos de las renovables en Colombia
 - Seguridad energética
 - Diversificación de la matriz de generación
 - Reducción de emisiones de GEI y adaptación al cambio climático
 - Desarrollo industrial y tecnológico
 - Políticas económicas y energéticas de largo plazo
- Reflexiones finales sobre el timing óptimo: proyectos existentes sin recuperación de la inversión, inversiones en curso, ajuste al mercado requeridos

Drivers, canastas futuras (certidumbres e incertidumbres), acciones de cambio climático

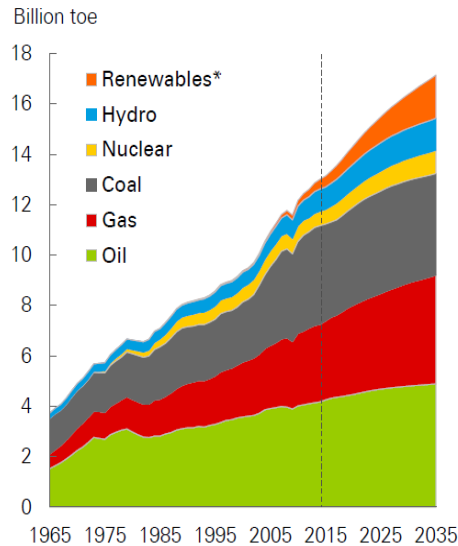
PANORAMA INTERNACIONAL (ENERGÉTICO Y DE CAMBIO CLIMÁTICO)

Base case: Primary energy

The gradual transition in the fuel mix continues...



Primary energy consumption by fuel

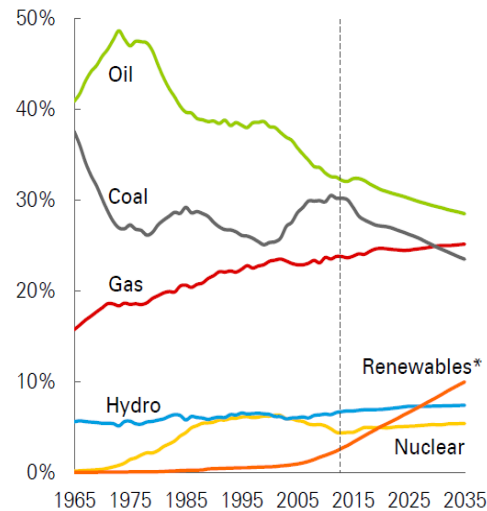


*Renewables includes wind, solar, geothermal, biomass, and biofuels

2017 Energy Outlook

14

Shares of primary energy



© BP p.l.c. 2017

- A futuro se requieren grandes cantidades de energía. Las tasas de crecimiento son diferentes por regiones.
- Los combustibles fósiles son dominantes. Estos tienen efectos ambientales además de los relacionados con los del cambio climático.
- Las energías renovables están creciendo rápidamente aunque su participación en la canasta no superará el 20% en el 2040.
- Este crecimiento se da en la generación de electricidad. Ella demandará casi el 50% de los energéticos primarios.
 - El transporte eléctrico y la electrificación de la sociedad serán los grandes jalonadores.
 - Las renovables participarán entre un 20% y un 50% para la generación eléctrica.

- Existen incertidumbres, además de aquellas referentes a los precios del petróleo y de los otros combustibles fósiles, asociadas con: (i) velocidad de la reducción de la participación del carbón, (ii) implementación de los acuerdos de la COP 21, (iii) éxito de políticas de movilidad eléctrica.

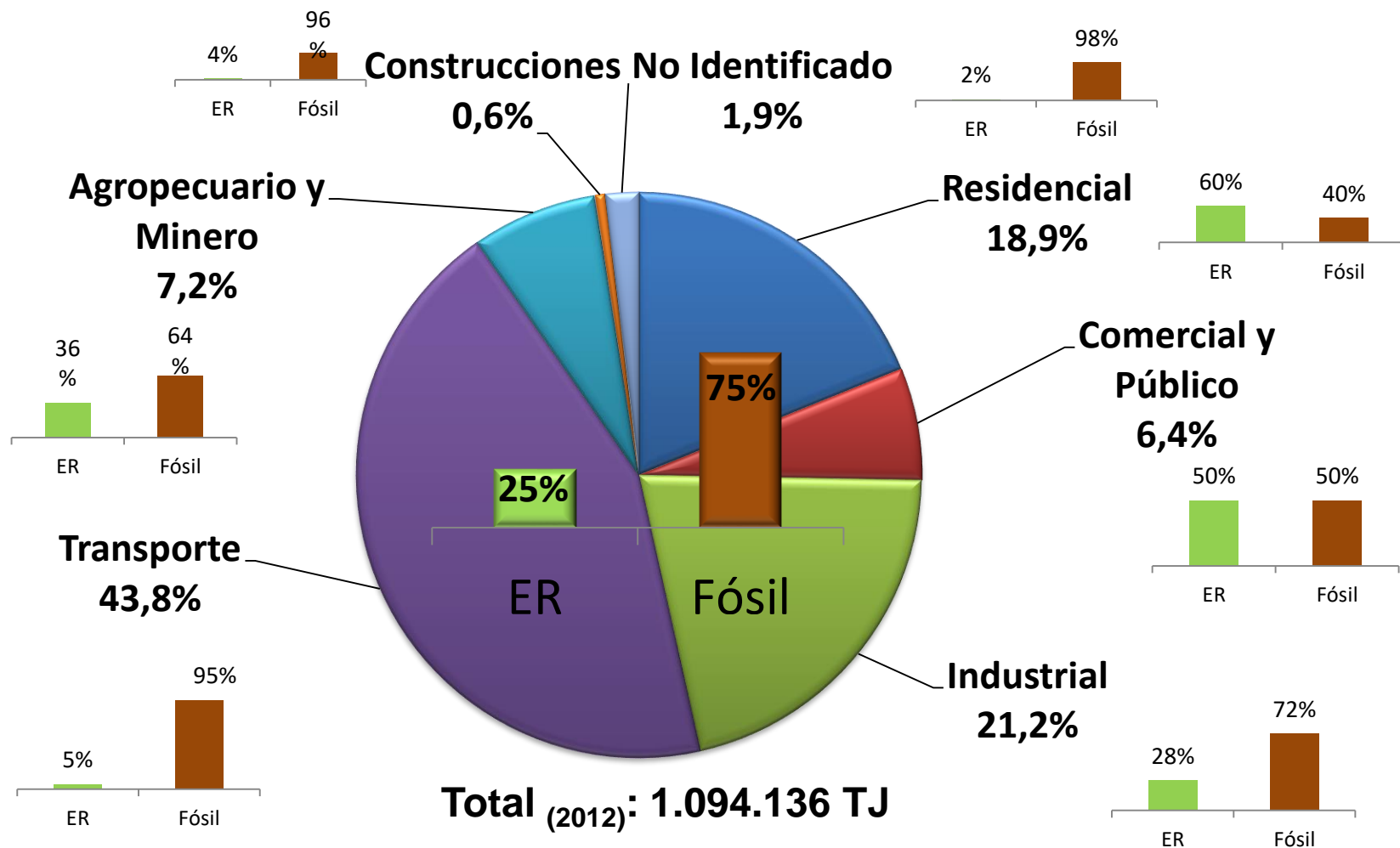
‘Drivers’ de las renovables a nivel internacional

- Seguridad del suministro (aprovechamiento de fuentes locales).
- Diversificación de la canasta energética.
- Los compromisos de cambio climático.
- El desarrollo industrial y el crecimiento de la mano de obra.
- Los aportes y retos de C&T.
- Los cambios en la industria eléctrica
 - Sistemas mas descentralizados.
 - Flujos de potencia bidireccionales entre todos los agentes de la cadena.
 - Participación activa de la demanda (vehículos eléctricos, electrodomésticos controlables) y mayor conciencia de las preferencias de los consumidores.
 - Alta participación las fuentes intermitentes (viento y sol) en todos los niveles (centralizados y distribuido) y penetración de sistemas de almacenamiento.
 - Mayores capacidades de interconexiones internacionales.

Canasta energética y eléctrica, perspectivas, NDC y acciones de cambio climático, políticas y planes

PANORAMA ENERGÉTICO COLOMBIANO Y POLITICAS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Energía final renovable y fósil (2012)



Material de presentación elaborada por la UPME, 2014

iNDC de COLOMBIA: Basado en Circunstancias Nacionales



0,46% de las
emisiones globales



Adaptación es prioridad
nacional (pérdidas
estimadas por cambio
climático equivalentes a
una Niña cada 4 años)



Top 40
Responsabilidad histórica
(deforestación) y Capacidad (PIB)



Economía en crecimiento, con
retos de desarrollo y
superación de pobreza



Consolidación de la **paz**



NDC - Opciones de mitigación de GEI

Sector	Principales oportunidades de mitigación
AFOLU	Deforestación evitada; restauración ecológica (restauración, rehabilitación y recuperación); modelos más eficientes de uso del suelo; plantaciones forestales comerciales, sistemas agroforestales con alto potencial de captura de carbono; mejores prácticas de fertilización (cultivo de papa y cultivo de arroz); ganadería sostenible (sistemas silvopastoriles intensivos, pastoreo racional); ordenamiento territorial.
Energía	Eficiencia energética en los sectores de demanda, transformación y producción; portafolio de energías renovables; sistemas de redes inteligentes; esquemas de generación con fuentes no convencionales y sistemas híbridos más estrategias de eficiencia energética para ZNI; reducción de pérdidas de transporte de energía; participación de la demanda mediante esquemas de precios y de incentivos; CBM y CMM; captura y almacenamiento de carbono.
Transporte	Estándares de rendimiento y conducción verde; chatarrización/renovación de la flota; vehículos eléctricos; uso de combustibles de menor carbono intensidad; promoción del transporte público; sistemas públicos de bicicletas; desincentivos al uso del transporte privado; cobros por congestión; transporte multimodal (fluvial y férreo); optimización del transporte de carga.
Industria	Además de las de eficiencia energética (calderas, hornos, motores), sustitución de carbón por biomasa y en general introducción de combustibles de menos carbono intensidad; desarrollos tecnológicos en los procesos productivos.
Vivienda	Además de las de eficiencia energética e introducción de energéticos más limpios (sustitución de bombillos incandescentes; mejora en eficiencia de aires acondicionados y estufas a gas natural; reemplazo y chatarrización de neveras; uso de energía solar), renovación de vivienda; nuevos materiales y mejores técnicas de diseño y construcción; ciudades sostenibles.
Residuos	Aprovechamiento de residuos sólidos (compostaje); captura y quema de metano en rellenos sanitarios; captura y quema de metano en plantas de tratamiento de aguas residuales .

- Eficiencia energética y eficiencia en procesos
- Nuevos procesos / tecnologías de producción, transformación, transporte y uso
- Fuel switching y nuevos materiales
- Cambios en los patrones de comportamiento

Seguridad energética, diversificación de la canasta, reducción de emisiones de GEI y adaptación, desarrollo industrial y tecnológico, políticas de largo plazo

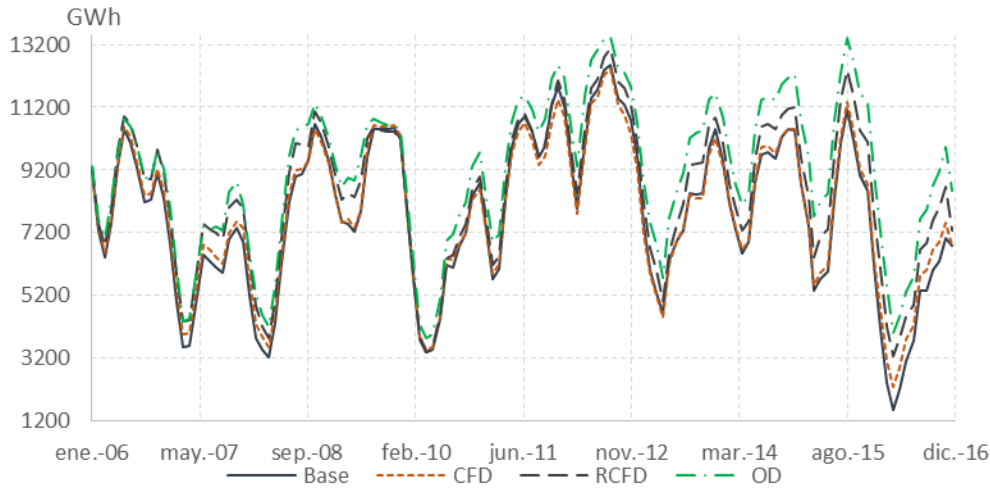
IMPACTOS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN COLOMBIA

Seguridad energética (reduciendo el riesgo)

- Definición: habilidad del sistema para entregar un flujo de energía para cumplir la demanda con las condiciones establecidas y precios eficientes (adaptado de M. Grubb, 2006). Adequacy.
 - Diversity and security in UK electricity generation: The influence of low-carbon objectives Michael Grubb, Lucy Butlerb, Paul Twomeyb.
- CxC: aumento de dependencia hídrica sin incremento significativo de la capacidad de regulación en los embalses.
- Disponibilidad a pagar de los usuarios por la confiabilidad establecida, otra manera de reducir el riesgo de desabastecimiento: contratos, productos financieros.
- Precios de la energía.
- ❖ Cobertura, calidad y precios.

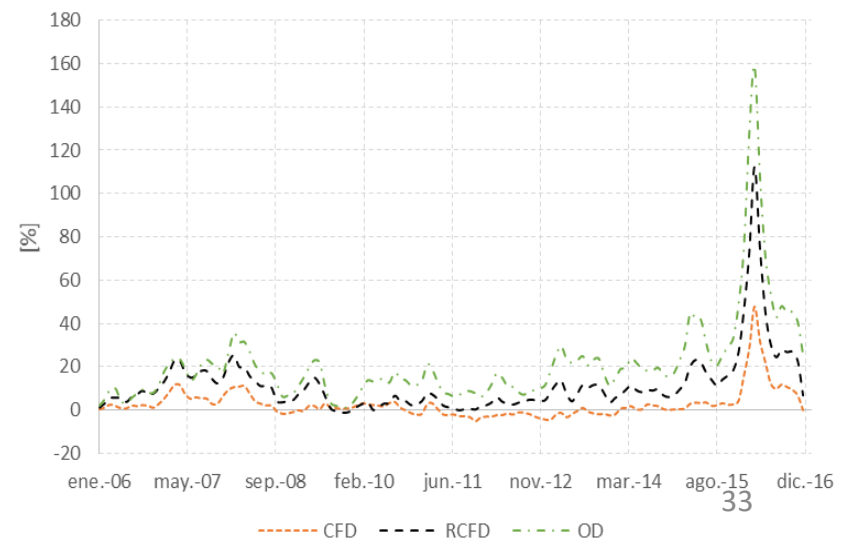
Energías renovables y CxC: complementariedad

Energía almacenada en el embalse agregado



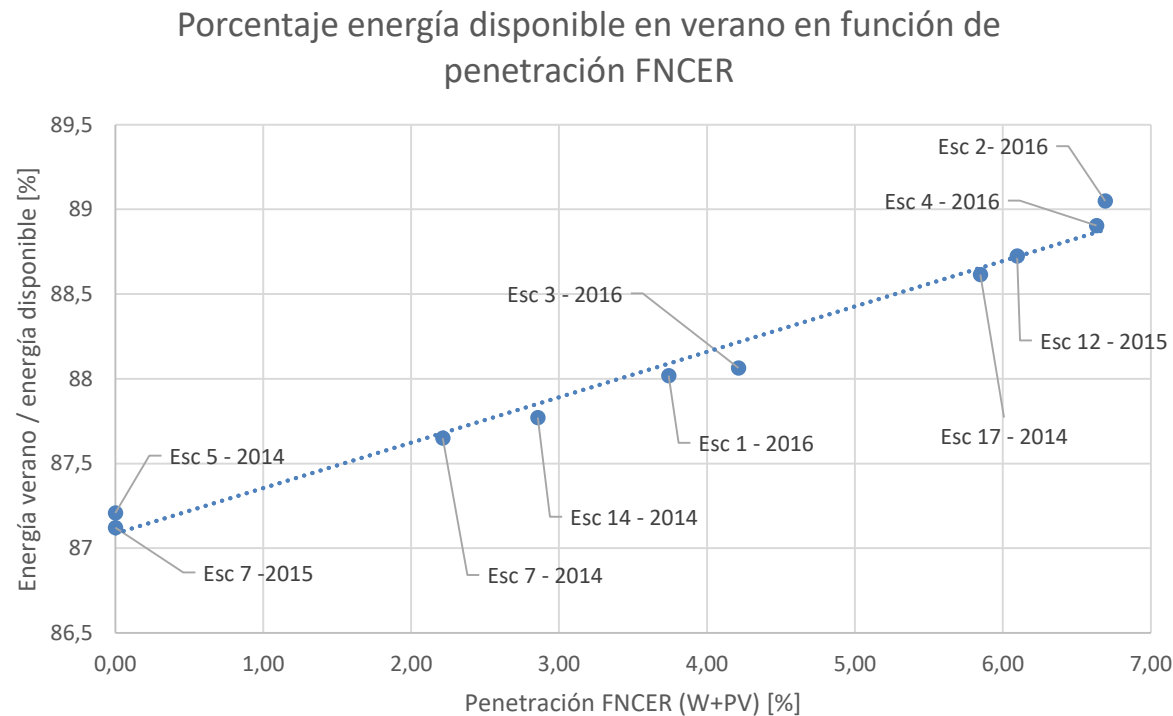
Complementariedad permite un mejor manejo del embalse en periodos de escasez hídrica.

Incremento porcentual en energía almacenada embalse agregado



Energías renovables y CxC: complementariedad

Complementariedad permitirá un mejor manejo del embalse en los veranos.



Seguridad energética: precios

Metodología	Periodo de tiempo	Case Base [USD/MWh]	Caso Base [%]	Escenario 1 [USD/MWh]	Escenario 1 [%]	Escenario 2 [USD/MWh]	Escenario 2 [%]
SMR	Completo	2.05	2.52	1.04	1.28	0.00	0.00
	El Niño	3.57	2.31	2.02	1.31	2.02	1.31
MPODE	Completo	1.90	3.34	1.06	1.86	0.30	0.53
	El Niño	2.35	3.36	0.87	1.24	0.41	0.58



Seguridad energética: precios

- ¿Energía firme?
- Servicios auxiliares.
- Requerimientos de flexibilidad.
- Áreas de balance.
- Expansión de la transmisión y subtransmisión.



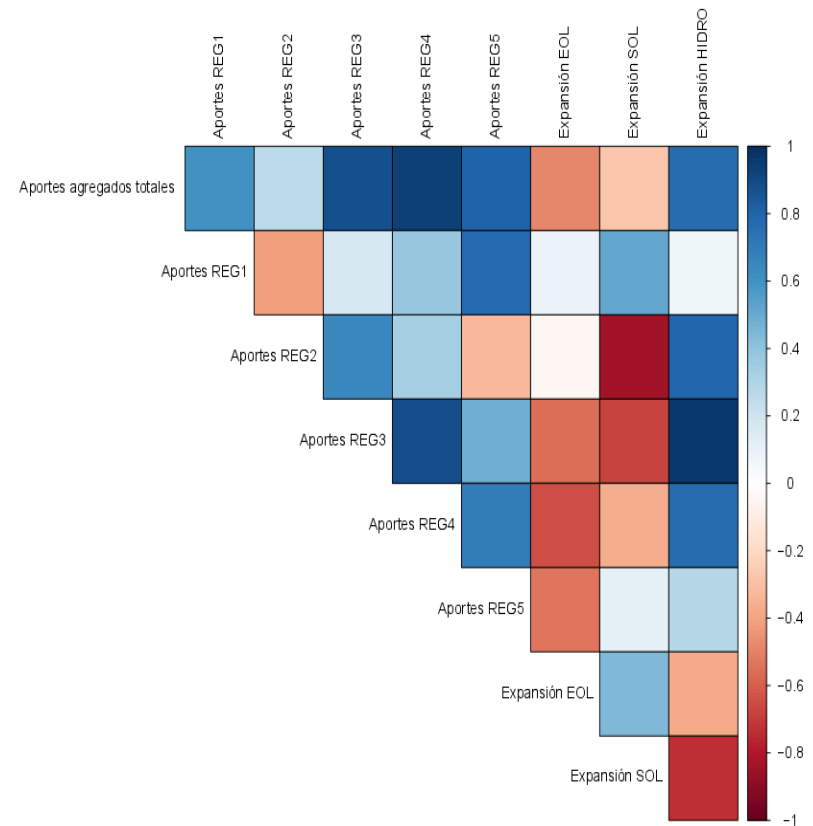
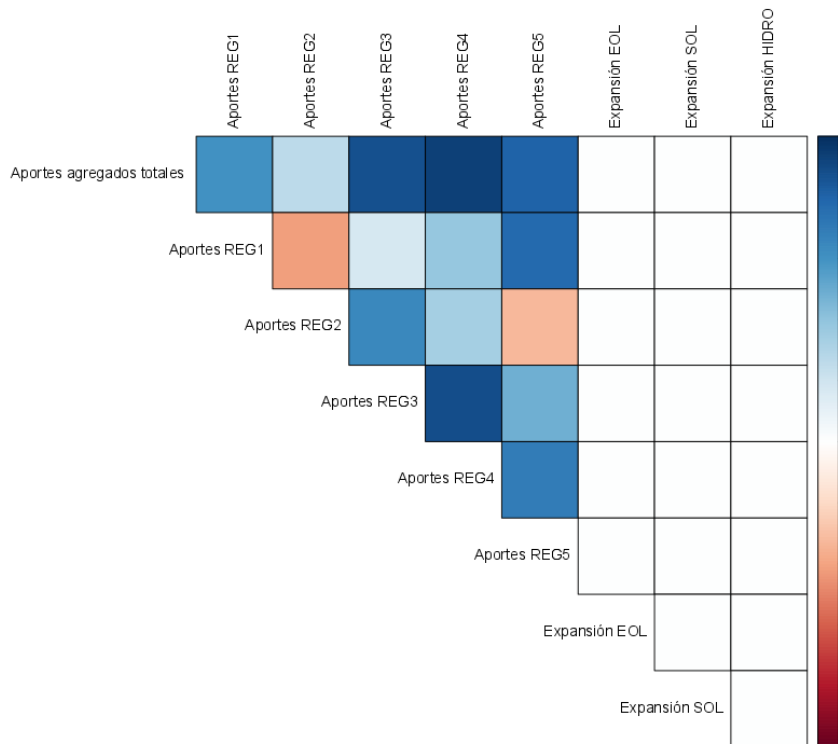
Diversidad energética

(reduciendo los impactos de lo incierto y no conocido)

- Una dimensión de la seguridad (M. Grubb et al., 2006).
- Se refiere (A. Stirling, 1994 citado en M. Grubb, 2006): (i) variedad, (ii) balance, y (iii) disparidad.
- En este caso hace referencia a : (i) tipo de combustible, (ii) fuentes del recurso (geográfico), (iii) tipo de tecnología y (iv) fuente del conocimiento (M. Grubb, 2006) **y (v) agentes**.
- Mejora la resiliencia del sistema.
- Índices: Wiener – Shannon y HHI.
- “Los diseños de mercados actuales no dan incentivos adecuados para la diversificación” (Roques et al., 2005 citado en M. Grubb et al. 2006).
 - “Flujos de costos correlacionados con flujos de ingresos resultan en ganancias menos volátiles y por ende comercialmente menos riesgosas”.
 - “Hay más riesgos comerciales diversificando con renovables”.
- La incertidumbre y el desconocimiento de fenómenos muestran la necesidad de señales de política.

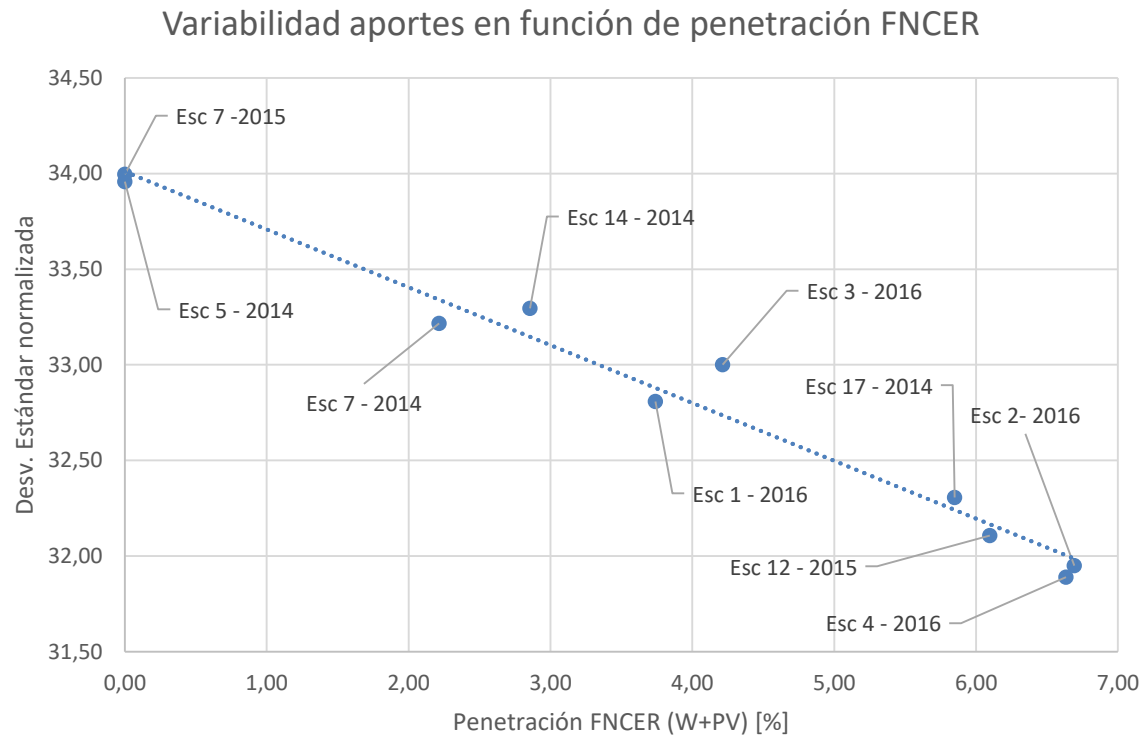
Energías renovables y complementariedad

Eólica y solar son complementarias con los aportes agregados del sistema.



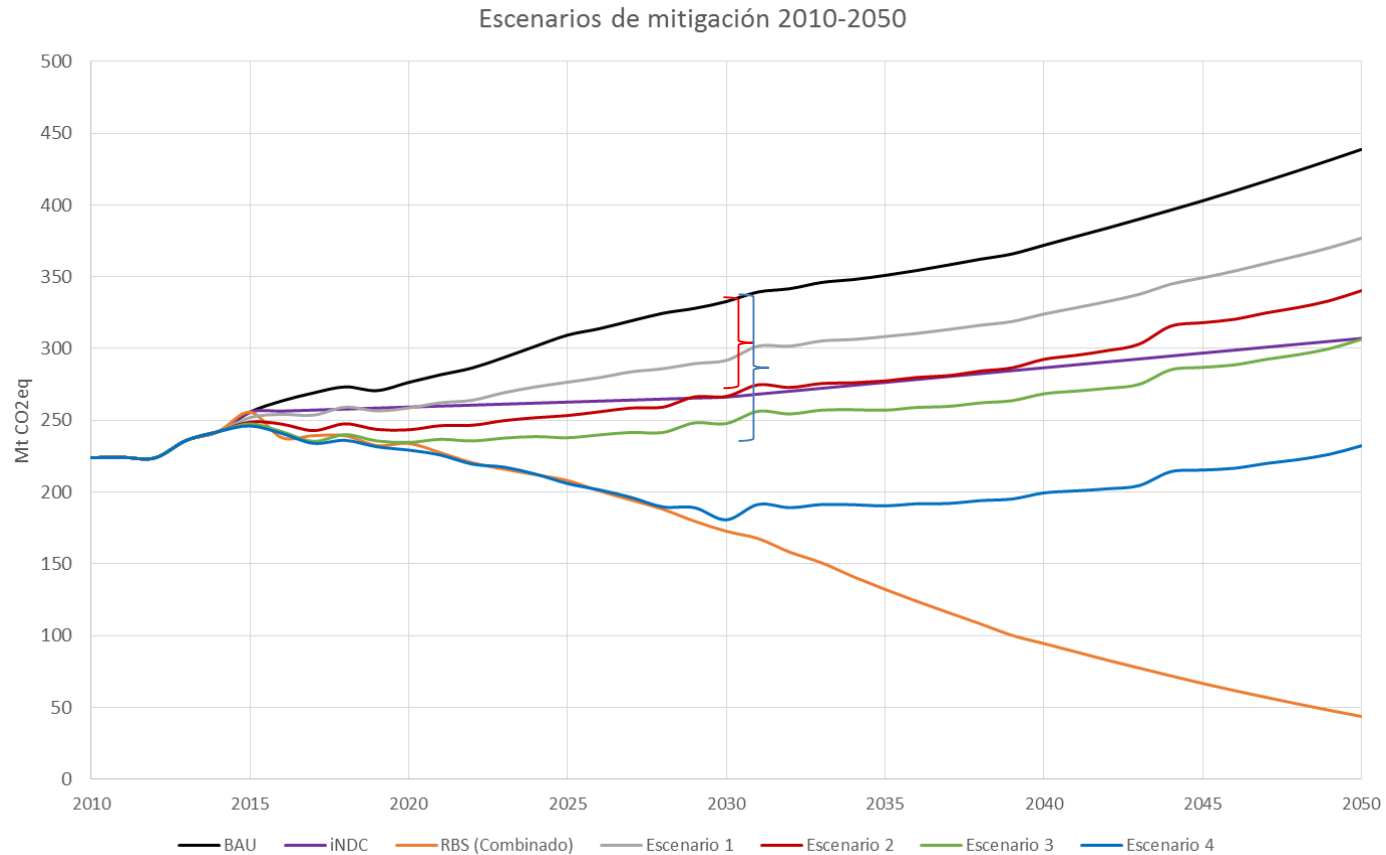
Energías renovables y Complementariedad

Complementariedad reduce la variabilidad de los aportes energéticos del sistema.



Emisiones de GEIs

Escenarios de mitigación - iNDC

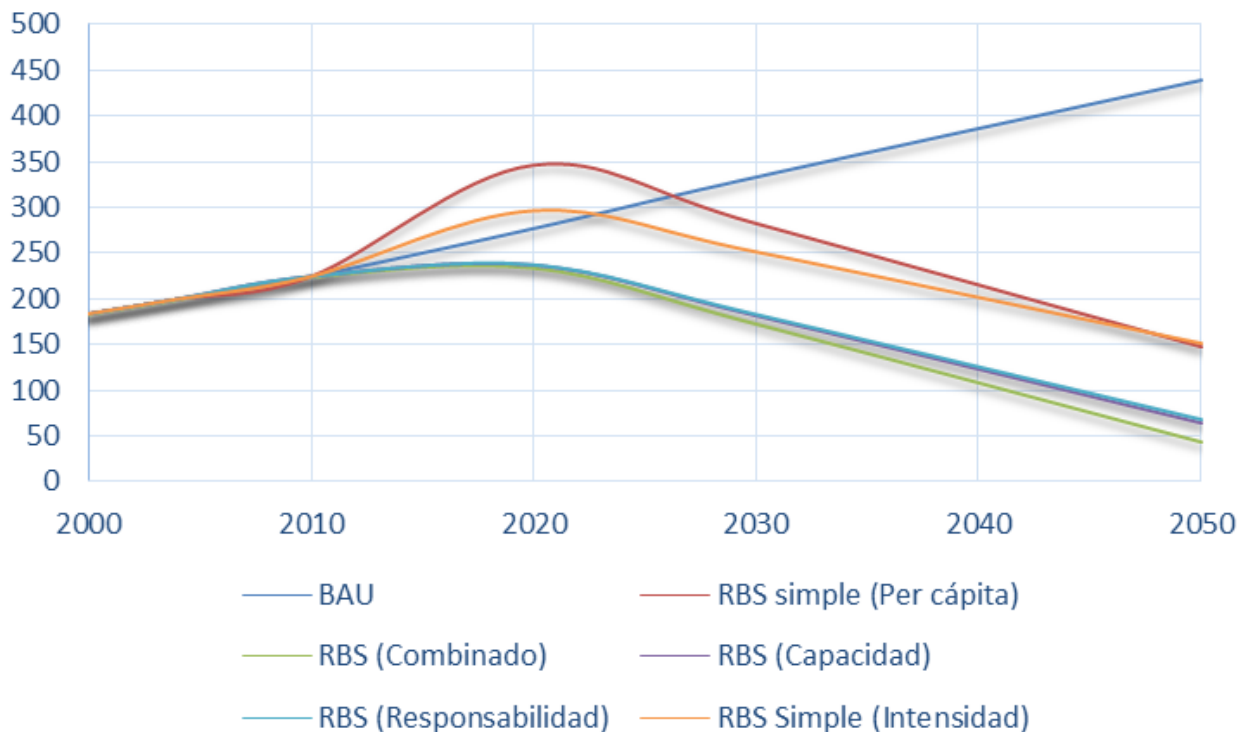


Requerido por la ciencia y la equidad

(Mton CO₂ eq)

CAGR agregado BAU: 2.0%

CAGR agregado NDC: 1.0%



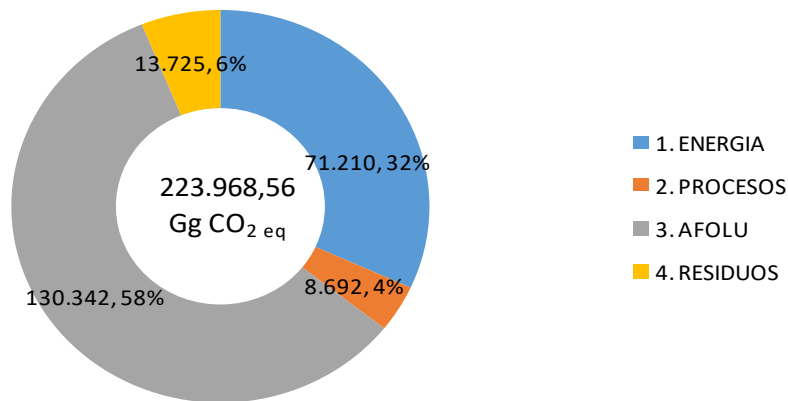
CAGR	
Variables macro	
PIB	3.9%
Pob.	1.0%
PIB/hab.	3.1%

ton CO ₂ eq/ hab		
	BAU	RBS Colombia
2010	4.9	4.9
2030	5.9	3.1
2050	7.0	0.7
kg CO ₂ eq/USD\$		
	BAU	RBS Colombia
2010	0.446	0.446
2030	0.292	0.151
2050	0.183	0.018

Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)

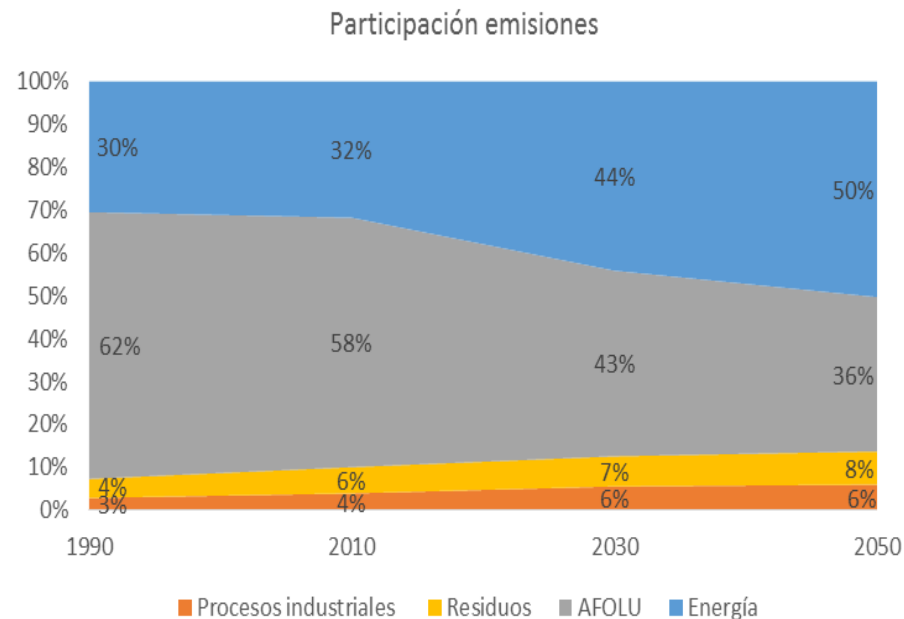
Actuales y futuras

Emisiones sectoriales de GEI (Gg CO₂ eq)
Año 2010



Mejoras en eficiencia y cambios técnicos (fuentes / tecnologías) deben ser concebidos desde ahora.

Fuente: Uniandes – MADS. 2015. Soportes para la definición de la iNDC.



Escenario Uniandes – WWF

2* (10 – 20) – 30 Metas propuestas

J. Rodríguez, A. Cadena et al. 2017. Integración de renovables (FNCER) y movilidad eléctrica y acciones de eficiencia energética para la reducción de emisiones de GEI en Colombia. Trabajo realizado por Uniandes para WWF.

- 10% de reducción en el consumo de energía eléctrica en industrias y edificaciones a 2030 (con respecto a proyección de demanda alta de la UPME de junio, 2016).
- 10% de sustitución de combustibles fósiles consumidos por el sector transporte por electricidad, a 2030 (a partir de la proyección de demanda media de la UPME de marzo, 2015).
- 20% de participación de *renovables** en la generación eléctrica al año 2030.
- 20% de reducción en las emisiones GEI del sub-sector de generación eléctrica al año 2030 (con respecto a la proyección BAU de dicho sector).

* Entendiendo por energía *renovable* toda la proveniente de FNCER y en el caso de la hidroenergía aquella procedente de plantas hidroeléctricas con capacidades menores a los 20 MW.

Resultados Escenarios Uniandes – WWF

- Por la reducción de 10% en el consumo de combustibles fósiles en el sector transporte, gracias al logro de una participación del 17,15% de vehículos eléctricos en la flota de transporte carretero: 5,29 MTon CO_{2eq}
 - Por el logro de una participación del 19,78% de energías renovables en la generación eléctrica y el 10% de reducción en la demanda eléctrica proyectada para los sectores residencial, industrial y terciario: un mínimo de 4,95 MTon CO_{2eq} (sería mucho mayor si se consideran las restricciones eléctricas)
 - Por la instalación de 39,5 MW de capacidad solar y 23,7 MW de capacidad para aprovechamiento de biomásas como parte de sistemas híbridos de generación eléctrica en las ZNI (generando el 23,42% de su demanda eléctrica): 0,12 MTon CO_{2eq}
- ❖ REDUCCIONES GEI TOTALES: 10.346.239 Ton CO_{2eq}

(Impuestos y) Subsidios

Carbon Tax - 2010		
Energéticos	Sectores	Emisiones [Mt CO ₂ eq]
Diesel	Todos	18
Gasoline	Todos	12
Natural Gas	Petroq + Ref	4,1
LPG	Industria	0,2
Kerosene - Jet fuel	Todos	1,3
Total		35,6
Emisiones gravadas / BUR 2010		16%

- Diferentes instrumentos económicos y de política (regulación)
 - Tipo Precio
 - Tasas
 - Subsidios
 - Permisos de emisión comercializables
 - Comando y Control
 - Controles directos
 - Mixtos
 - Cargos y estándares
 - Otros: Educación, Acuerdos voluntarios



Desarrollo industrial y tecnológico

(incorporando mayor conocimiento nacional y
jalonando mejor educación)

- Estimativos de inversiones requeridas para el cumplimiento de la NDC
 - Generación: 13 BUSD\$ (10% incremental)
 - Transporte eléctrico: 9 BUSD\$ (10% incremental)
 - ❖ Con horizontes de más largo plazo se encuentran trayectorias más eficientes
- Nuevos esquemas de negocios, plataformas y servicios.
- Industrias de base tecnológica en el segmento de equipos y servicios climáticos y otros sofisticados para la gestión de las nuevas arquitecturas de transacción.
- Nuevos modelos de pronóstico, control y supervisión.

Políticas energética y económica de largo plazo

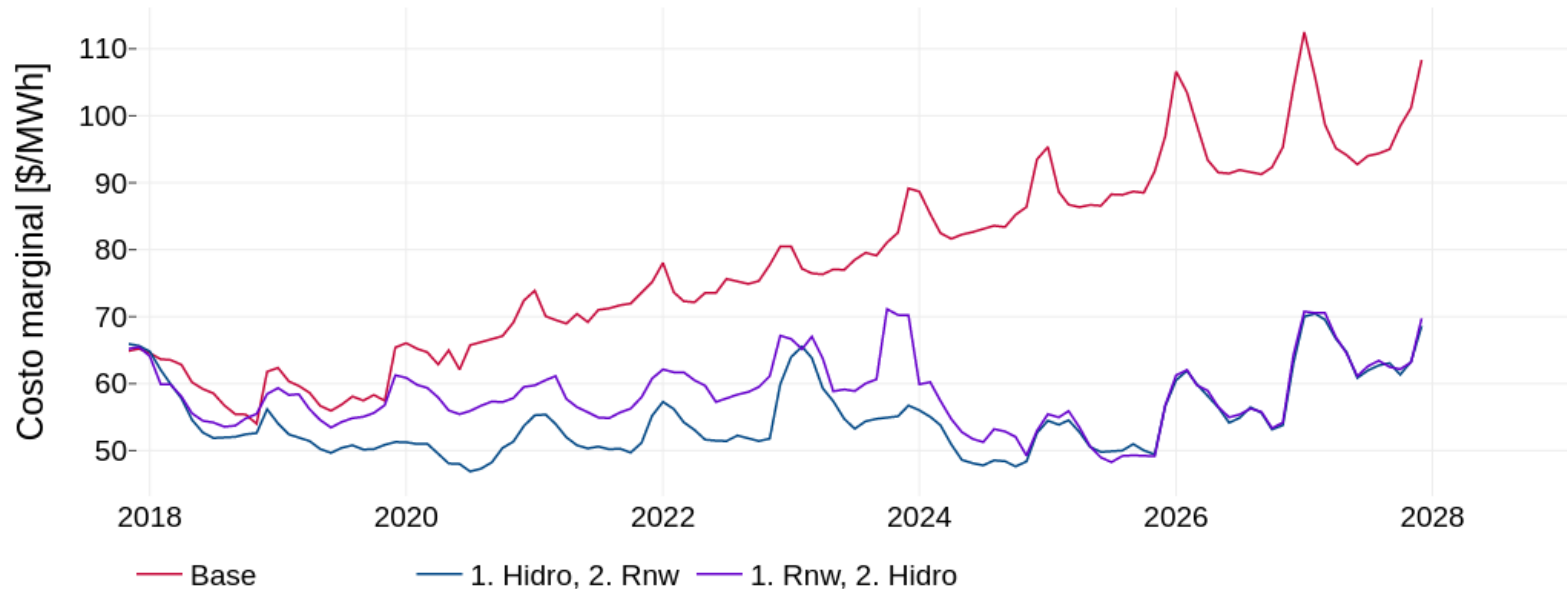
- Planes Energéticos Nacionales.
- Política que resuelva las fallas de mercado con planes ‘supervisables’, controlables y cumplibles.
- Ideario energético.
- Ley 1715 y decretos expedidos en su marco.
- Política de Cambio Climático.

Timing, otros acciones

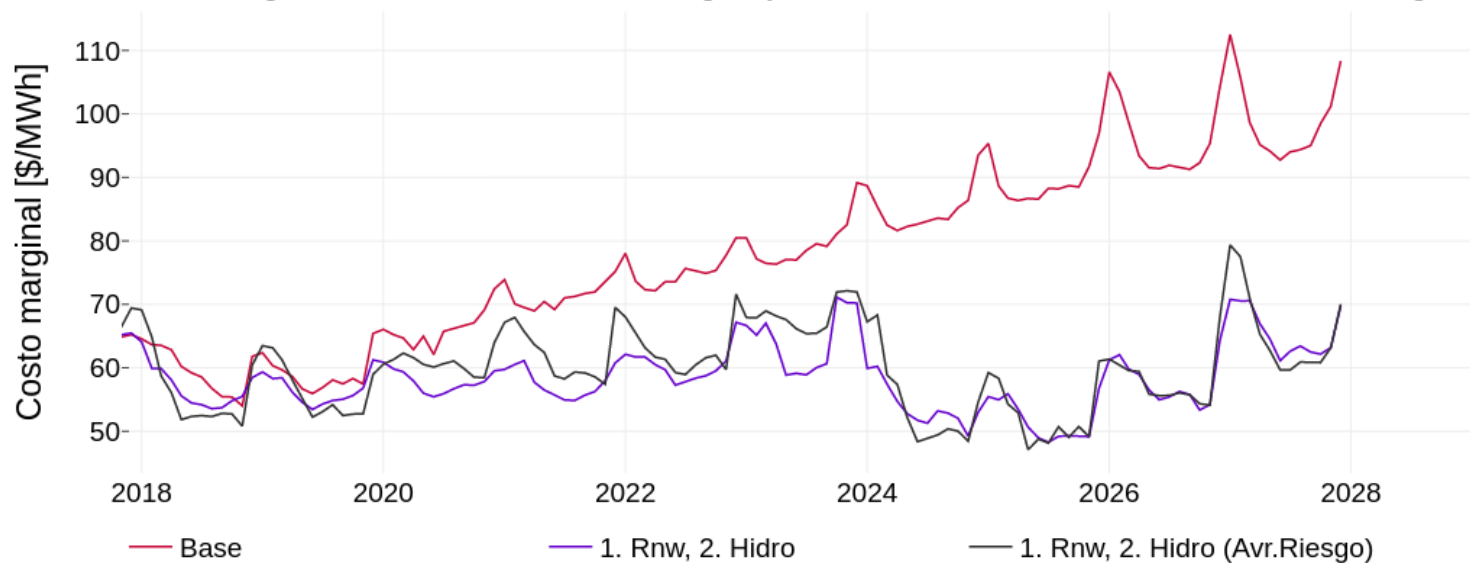
REFLEXIONES FINALES

Secuencia (timing) óptima

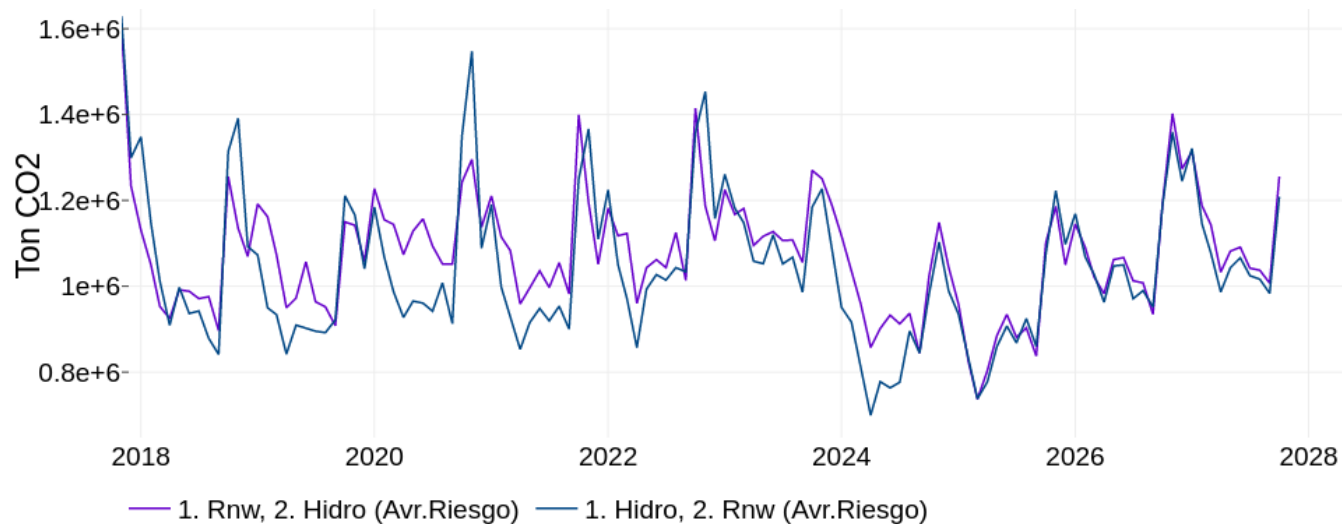
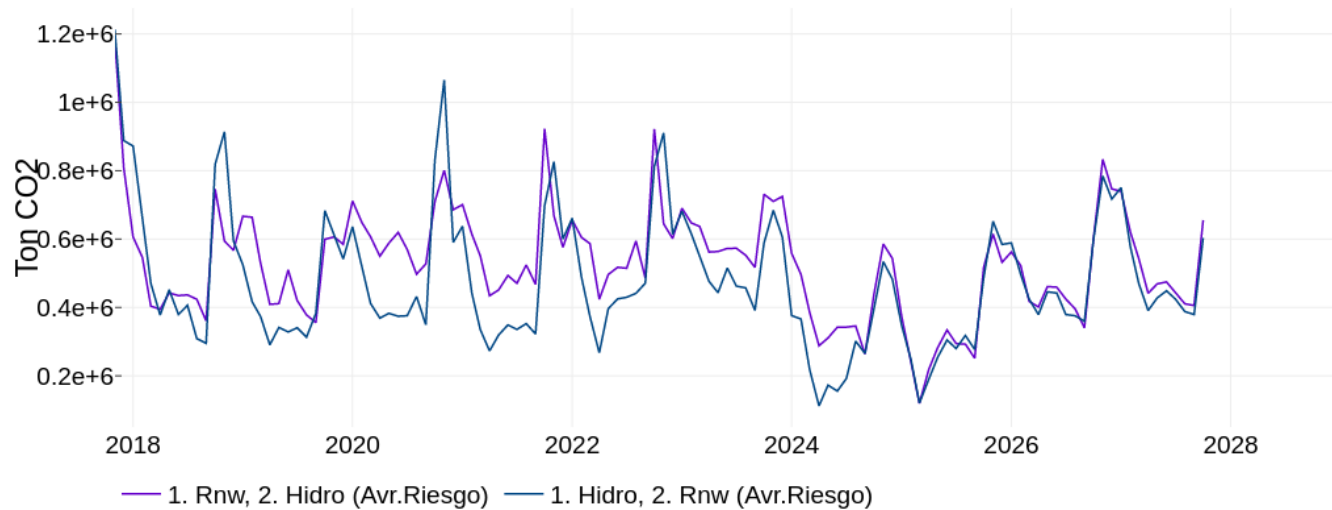
Costos marginales de atender la demanda



Timing: costos mg y aversión al riesgo



Timing: emisiones



Acciones pendientes

- Mercados intra-diarios
- Mercado de servicios auxiliares.
- Áreas de balance y Productos flexibilidad.
- Contratación a largo plazo.
- Precios nodales; Tarifas dinámicas.
- Agregador para generación distribuida y respuesta de la demanda.
- Smart grids y microrredes.
- Operadores de Sistemas de Distribución.
- Capacidades y protocolos técnicos de conexión y funcionamiento.
- Sistemas de almacenamiento.
- Esquemas transaccionales abiertos y flexibles.

Acciones pendientes

- Programas de desarrollo rural integrados.
- Movilidad eléctrica.
- Mejora de la infraestructura de telecomunicaciones (fibra óptica y 5G) y su uso compartido.
- Esquemas de financiación adecuados.
- Industrias en el segmento de equipos y servicios climáticos y otros.
- I+D+i.
- Capacidades nacionales de ingeniería y técnicas.

It's Indisputable: facts about Planning and Operating Modern Power Systems

1. The grid can handle more renewable generation than previously believed.
2. Geographic and resource diversity provide additional reliability to the system.
3. Wind and solar forecasting provide significant value.
4. While our electric power markets were not originally designed for variable renewables, they can be adapted.
5. Modern power electronics are creating new sources of essential reliability services.

Electricity Markets and Renewables

- Low variable costs of Variable Energy Resources (VER) can reduce average energy prices.
- Variability of VER can increase volatility in energy prices.
- Uncertainty of VER can increase the disparity between forward and real-time markets.
- Variability/uncertainty can cause a greater need to incentivize operational flexibility.
- VER may increase balancing reserve needs, thereby increasing demand and prices for those services.
- Since VER is nonsynchronous they may require explicit recognition of the need to provide essential reliability services.
- Variability/uncertainty can cause volatile and uncertain power flows, affecting financial transmission rights and locational energy price volatility.

¿Preguntas?

¡GRACIAS!

UN AGRADECIMIENTO ESPECIAL A ISAGEN Y A COLCIENCIAS