



Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Industrial

Seguridad energética - Colombia

Sergio Cabrales



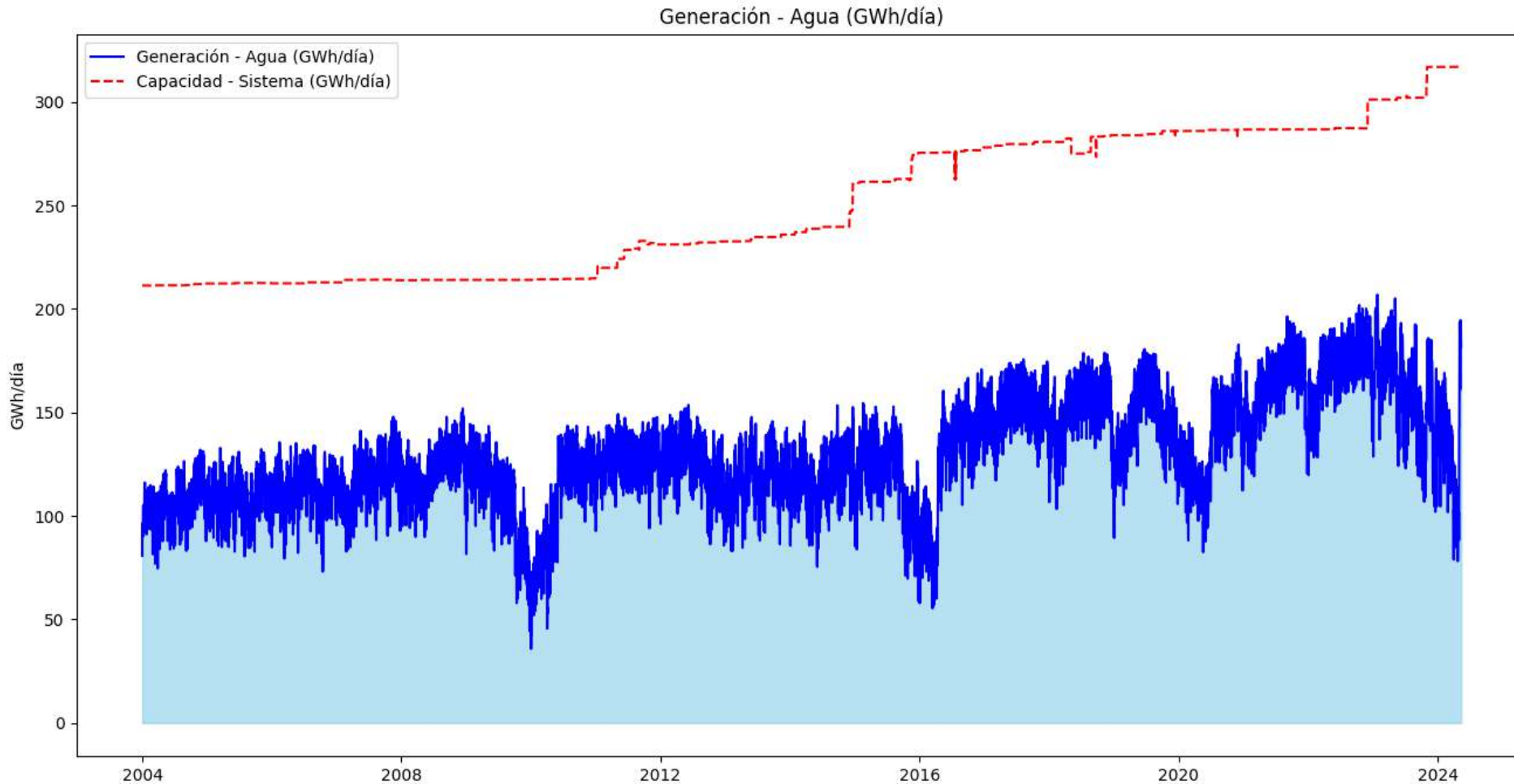
Agenda

- **Abastecimiento energético**
- **Sostenibilidad energética**
- **Accesibilidad energética**
- **Componentes de la solución**



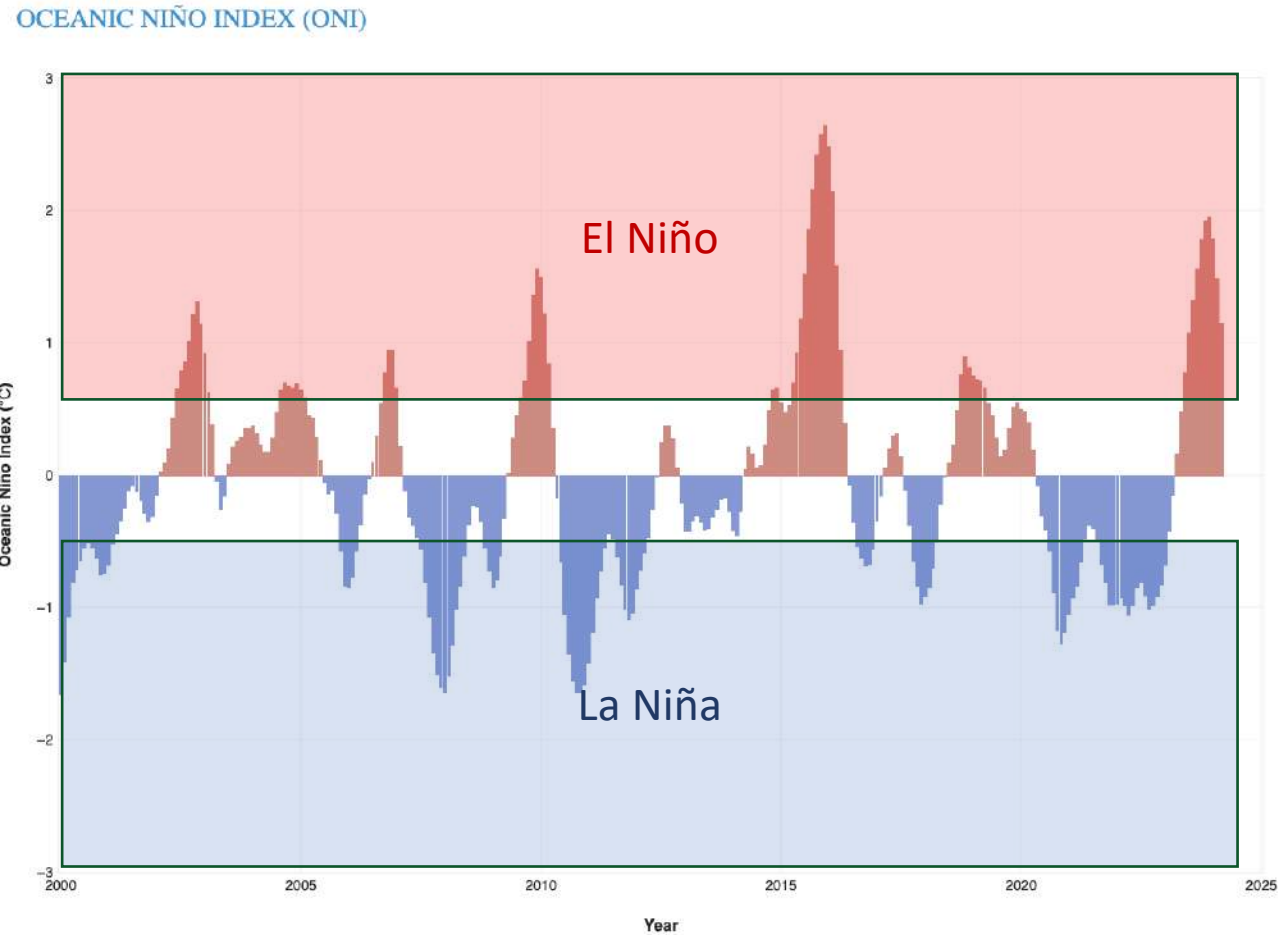
Abastecimiento energético

Capacidad versus generación – Agua



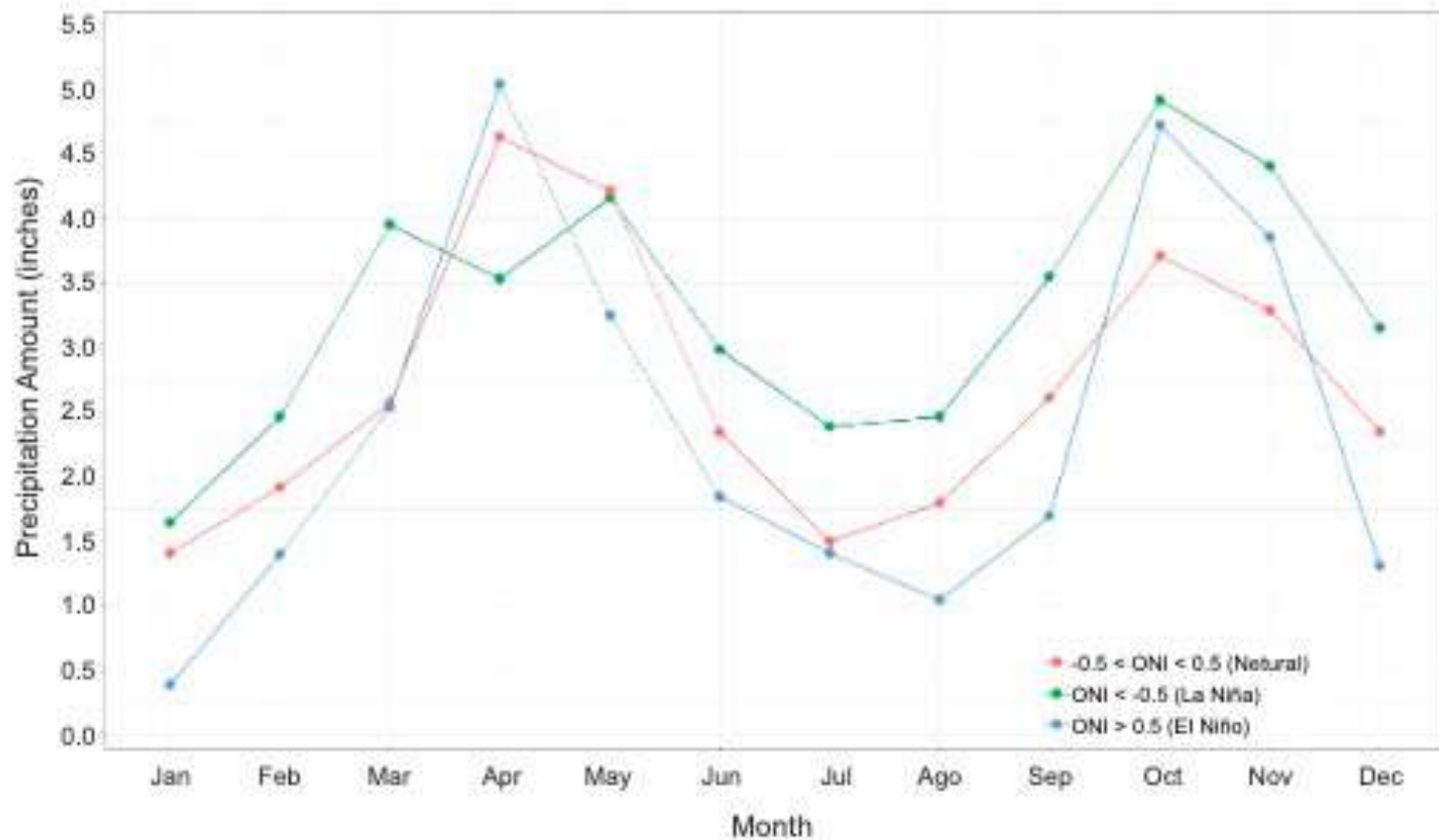
La capacidad de generación hidroeléctrica ha aumentado casi un 50% en los últimos 20 años. La generación hidráulica se ve afectada por la reducción de las lluvias durante el Fenómeno del Niño.

Oceanic Niño Index (ONI)



El calentamiento o enfriamiento de al menos 0.5 °C por encima o por debajo del promedio es uno de los criterios utilizados para monitorear el patrón climático de El Niño o La Niña.

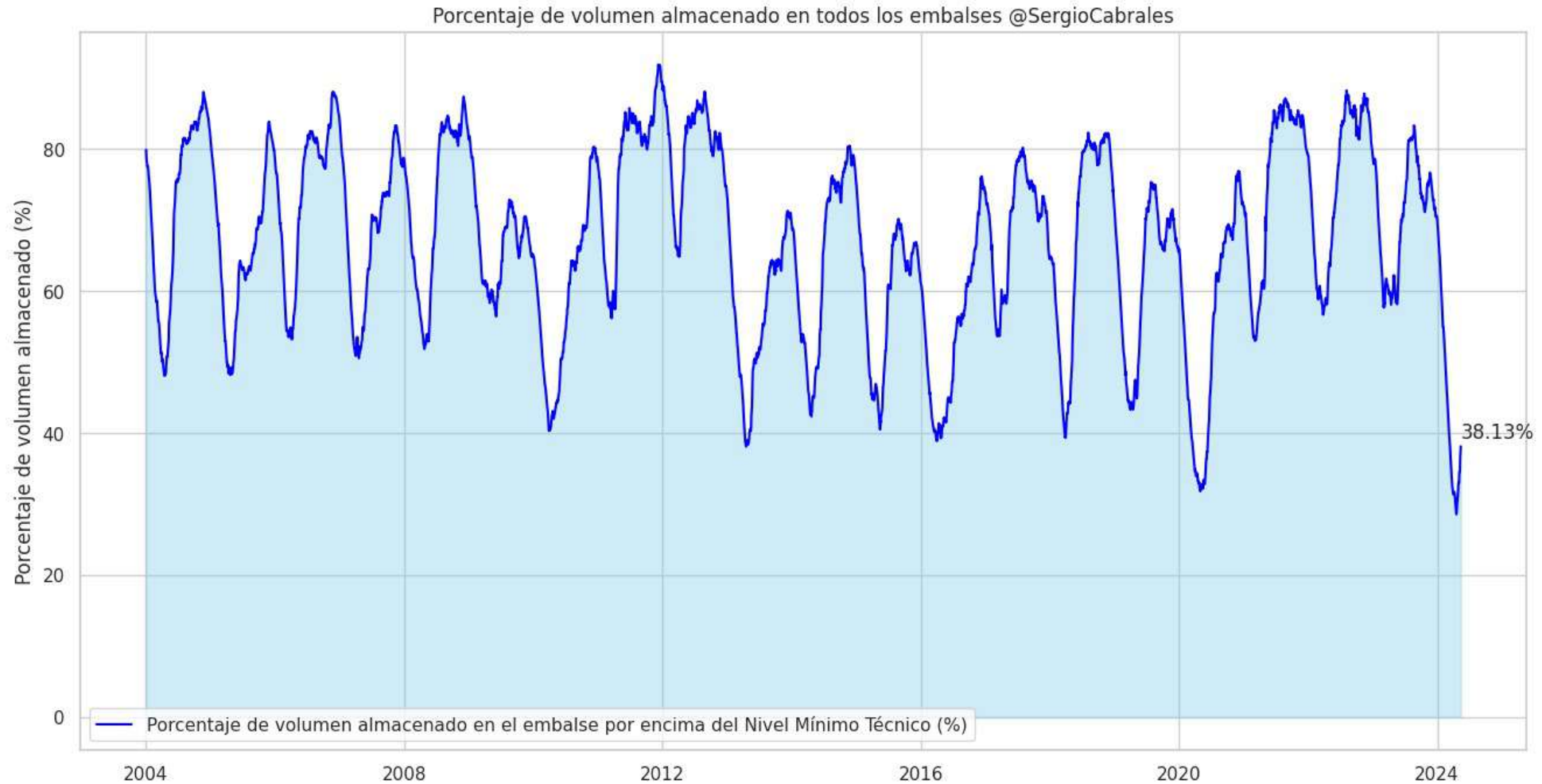
Precipitación promedio (1972 a 2015)



Source(s): Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2019)

Fuente: Cabrales, S., Solano, J., Valencia, C., & Bautista, R. (2020). Pricing rainfall derivatives in the equatorial Pacific. *Agricultural Finance Review*, 80(4), 589-608.

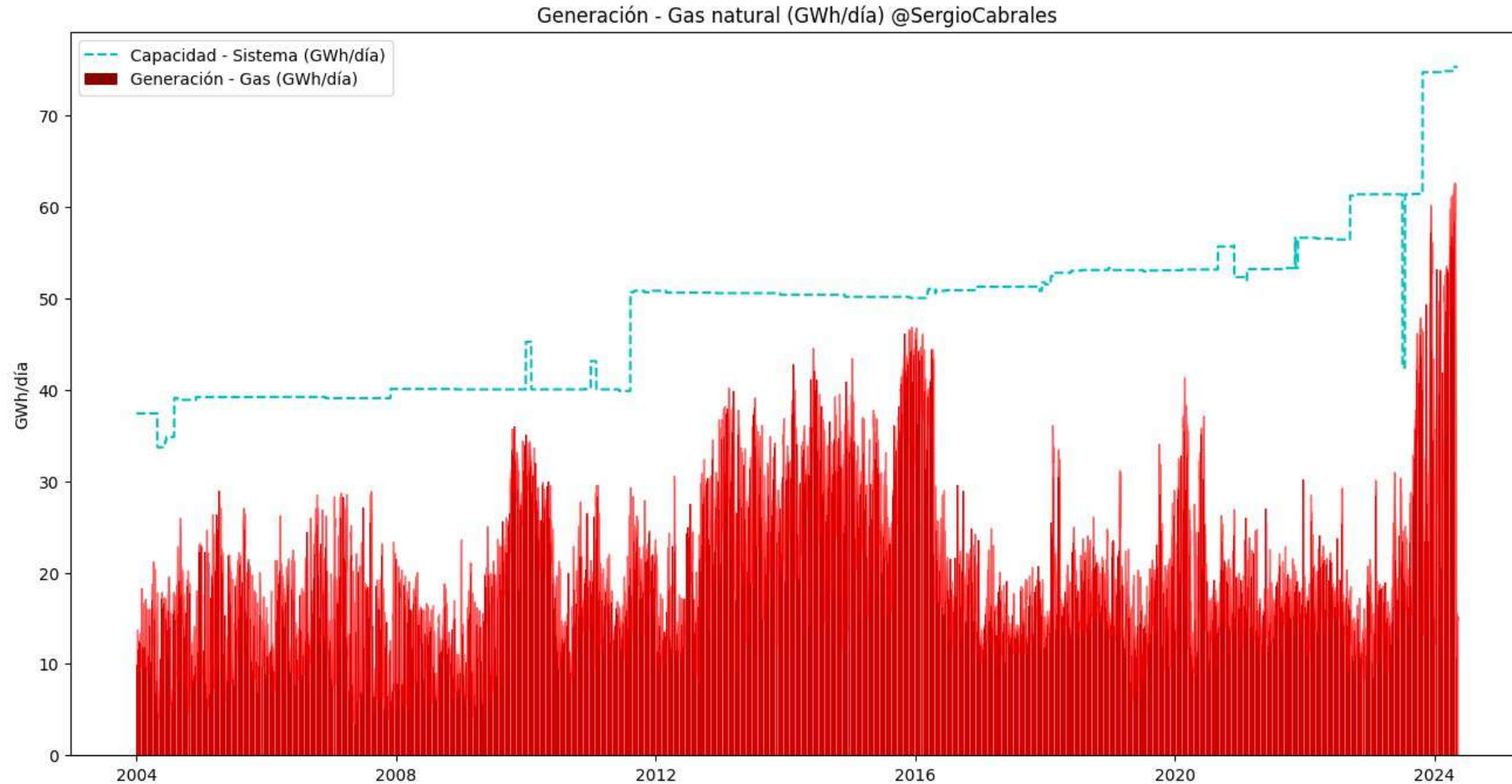
Porcentaje del volumen almacenado



Durante los tres primeros meses del presente año, los niveles de los embalses alcanzaron su punto más bajo registrado. Aunque pudimos sobrellevarlo sin racionamiento, no sabemos si podremos volver a lograr.

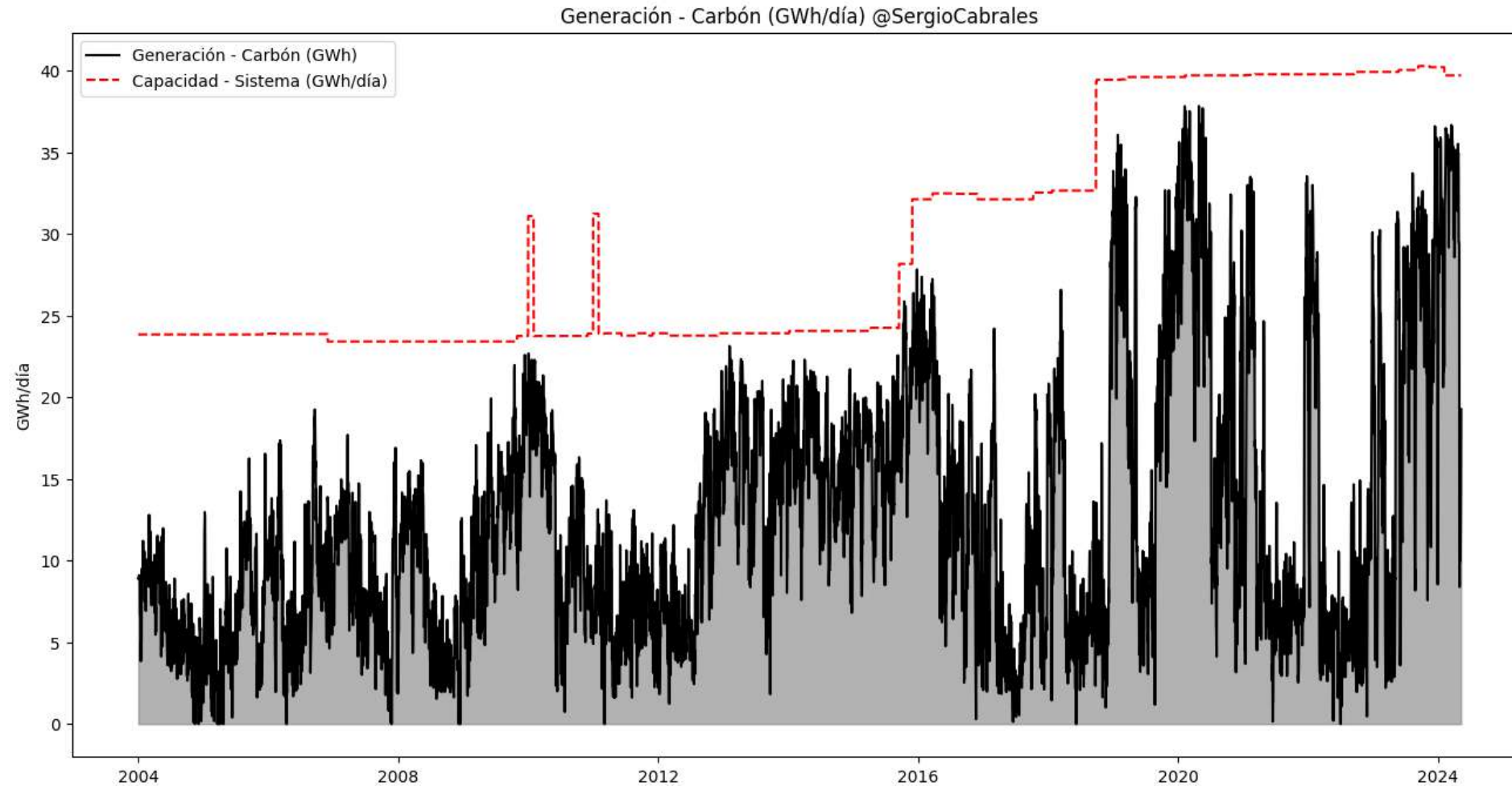
Fuente de datos: XIM

Capacidad versus generación – Gas natural



En los últimos 20 años, la capacidad de generación térmica a gas se ha duplicado. La generación térmica a gas respalda el sistema durante la ocurrencia del Fenómeno del Niño.

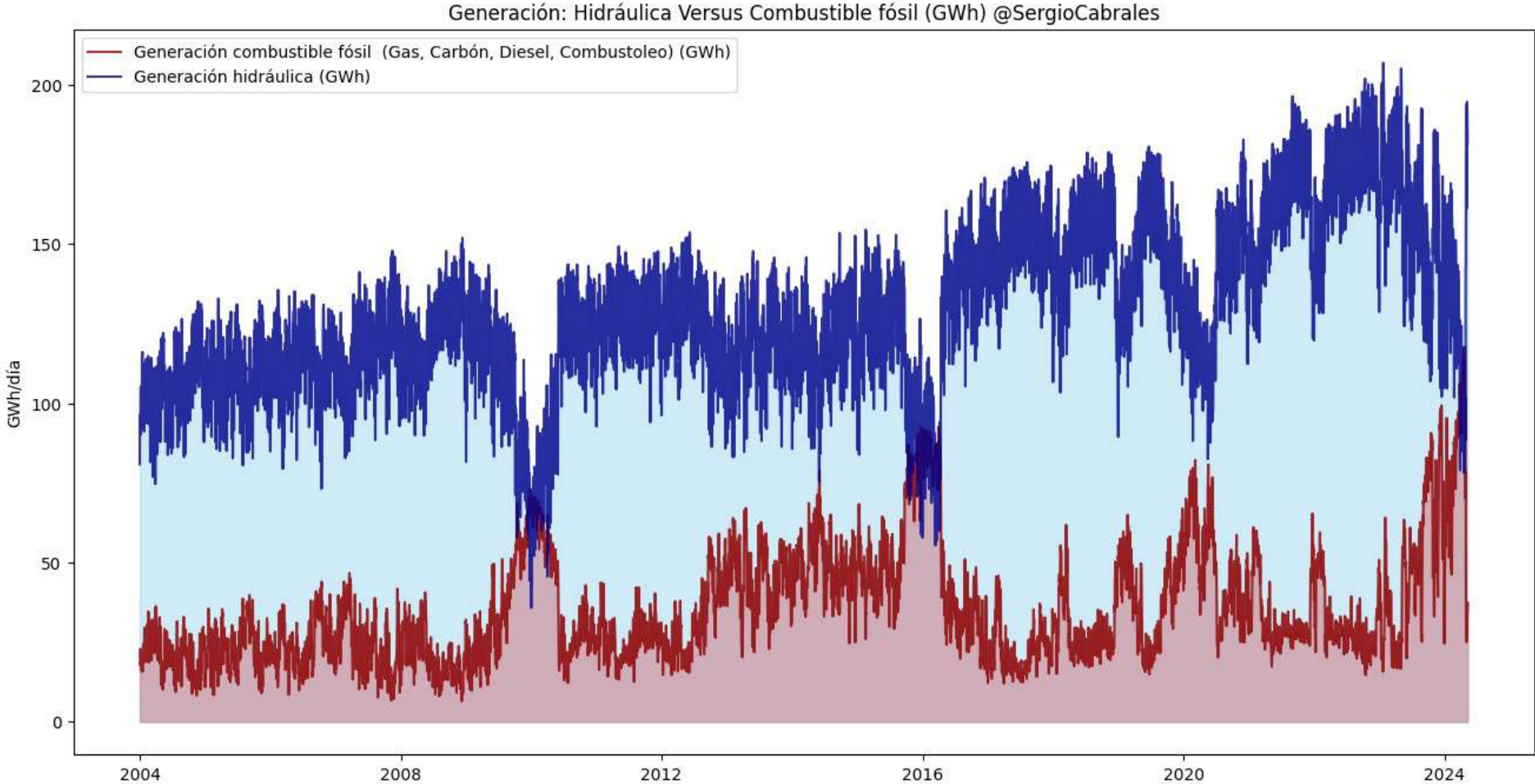
Capacidad versus generación – Carbón



La capacidad de generación térmica a carbón ha aumentado un 66% desde 2004. Al igual que las térmicas a gas, la generación térmica a carbón se ve afectada por el Fenómeno del Niño.

Fuente: Compañía de Expertos en Mercados (XM).

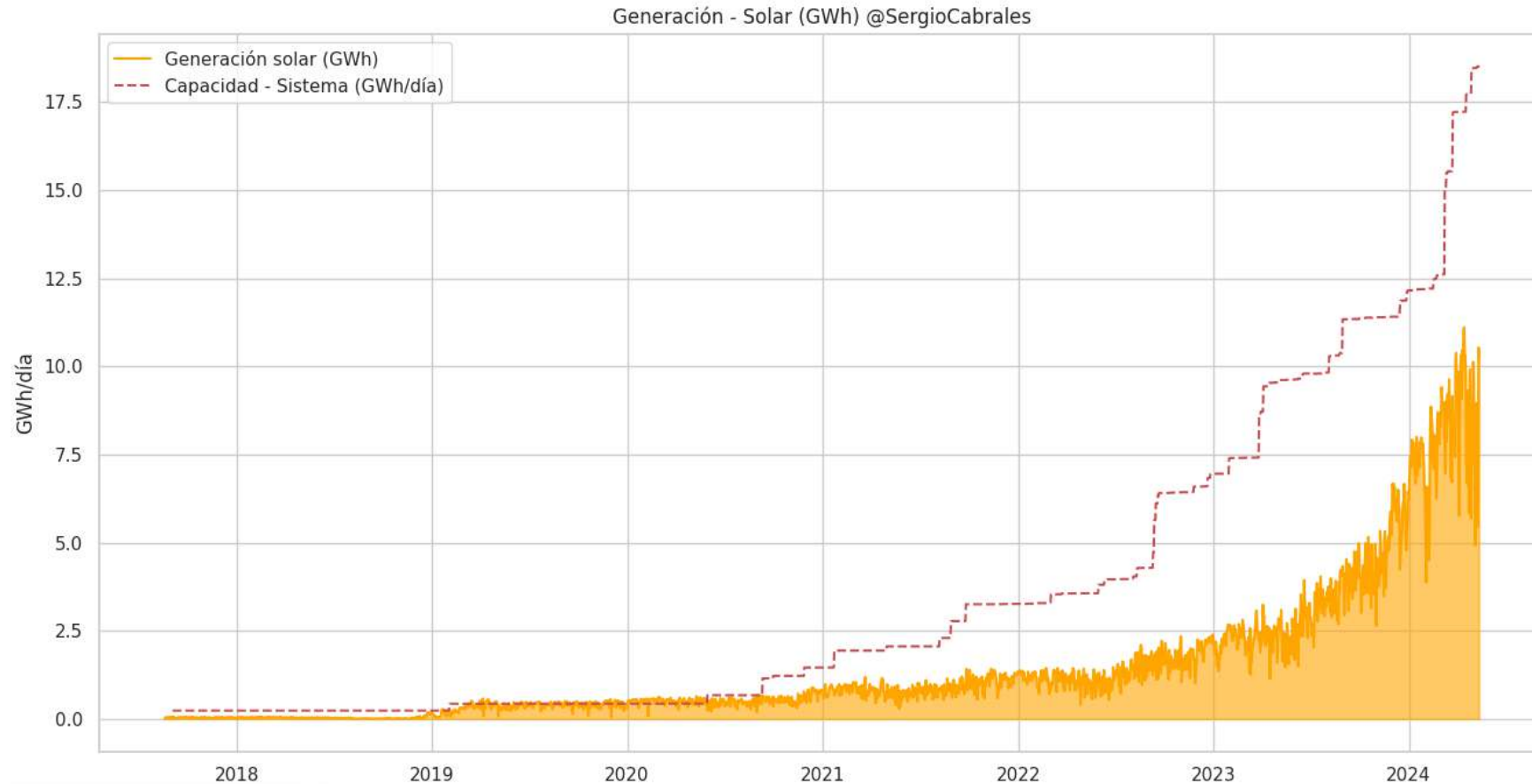
Generación: Agua Versus Gas, Carbón y líquidos



Cuando se presenta el Fenómeno del Niño, la generación térmica puede llegar a superar la generación hidráulica para evitar el racionamiento eléctrico.

Fuente de los datos: Compañía de Expertos en Mercados (XM).

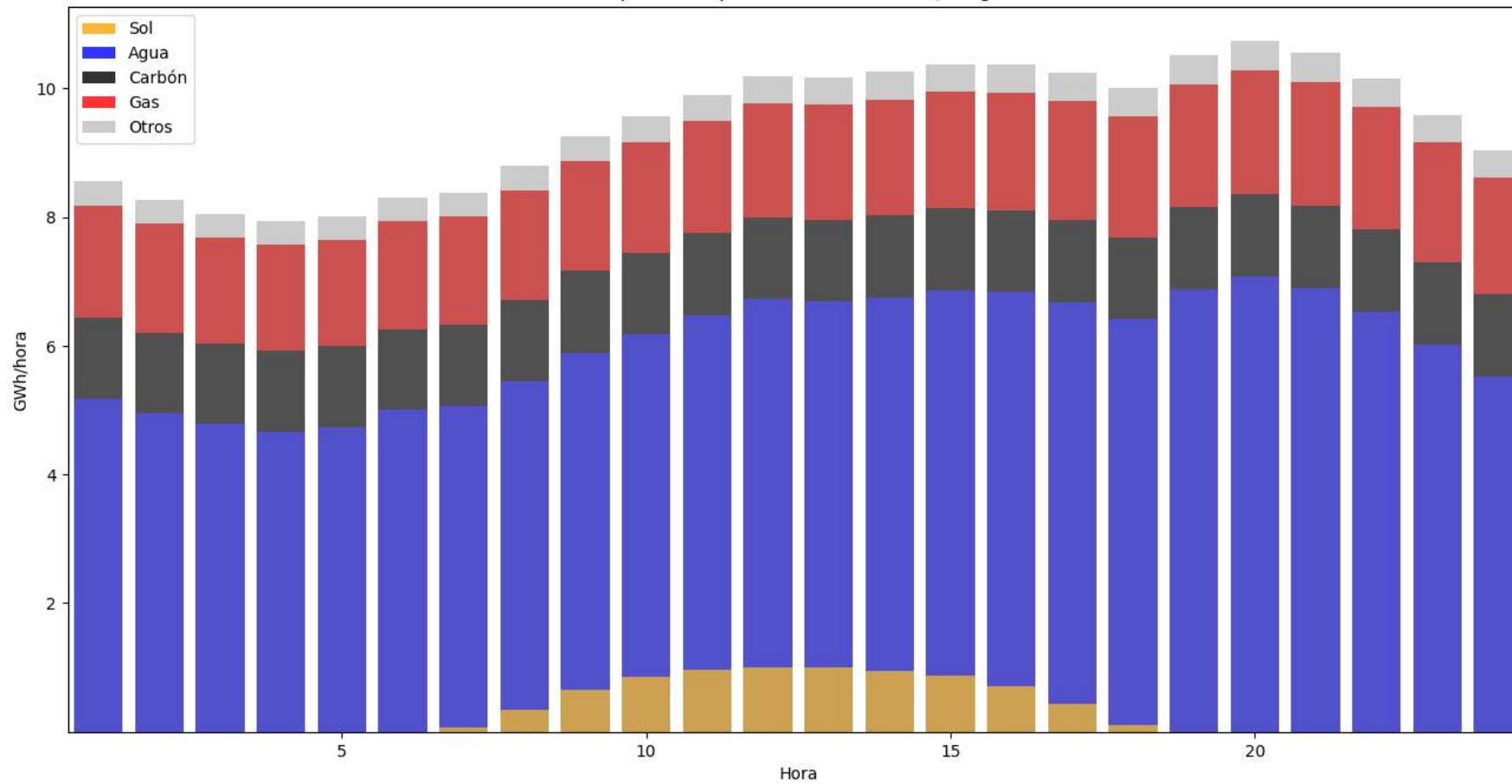
Capacidad versus generación – Solar



Por último, el crecimiento de la capacidad instalada de granjas solares ha sido exponencial en los últimos 4 años. La generación de estas granjas solares representa el 5% de la demanda nacional. Adicionalmente, se cuenta con 455 plantas AGPE (Autogeneración a Pequeña Escala) que suman 34.35 MW.

Generación promedio por hora en 2024

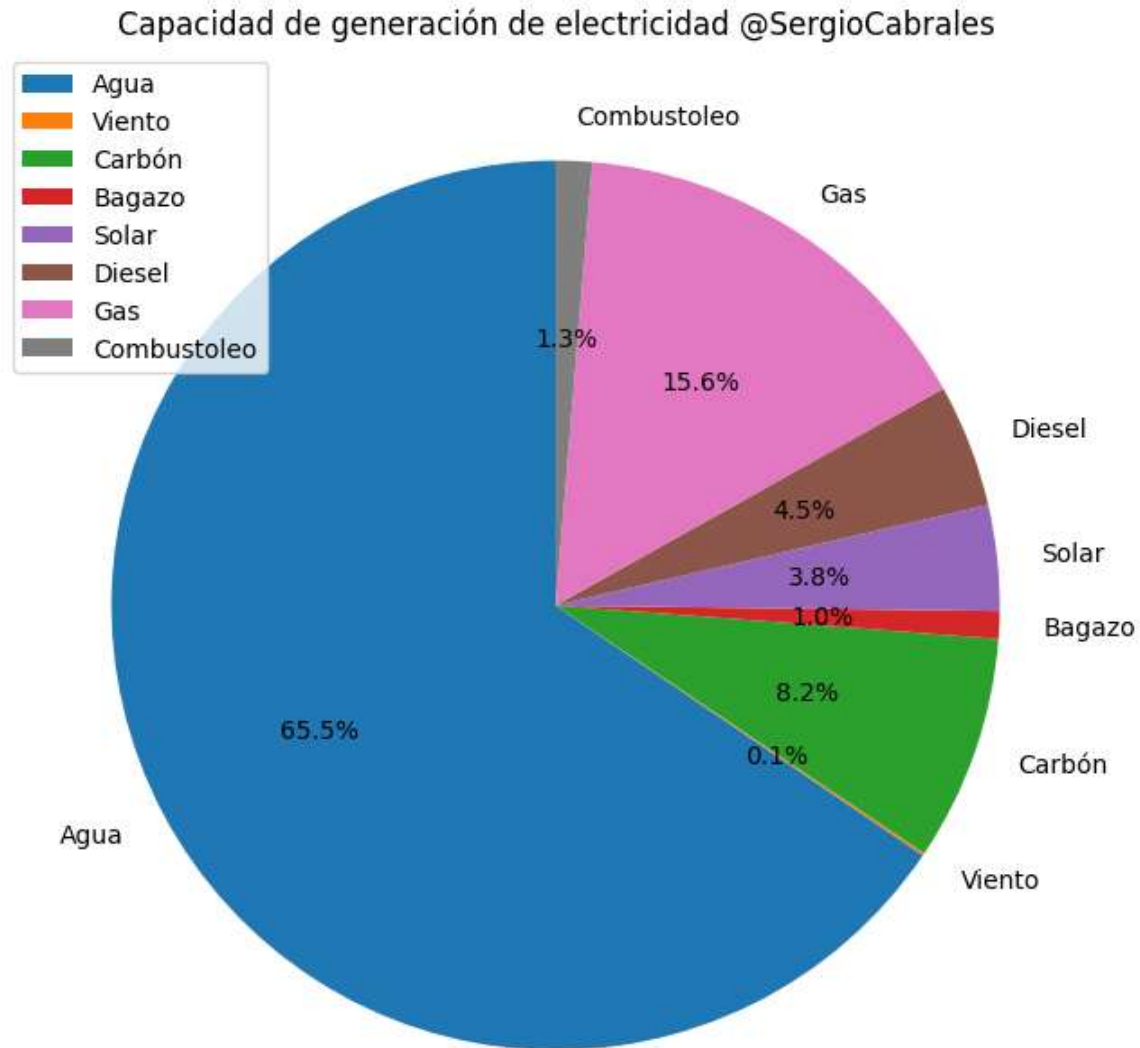
Generación promedio por hora (GWh/hora) @SergioCabrales



Las plantas solares suplen en promedio el 10% de la energía demandada al mediodía, pero no generan durante el pico de demanda que corresponde a la franja de 7:00 p. m. a 10:00 p. m.

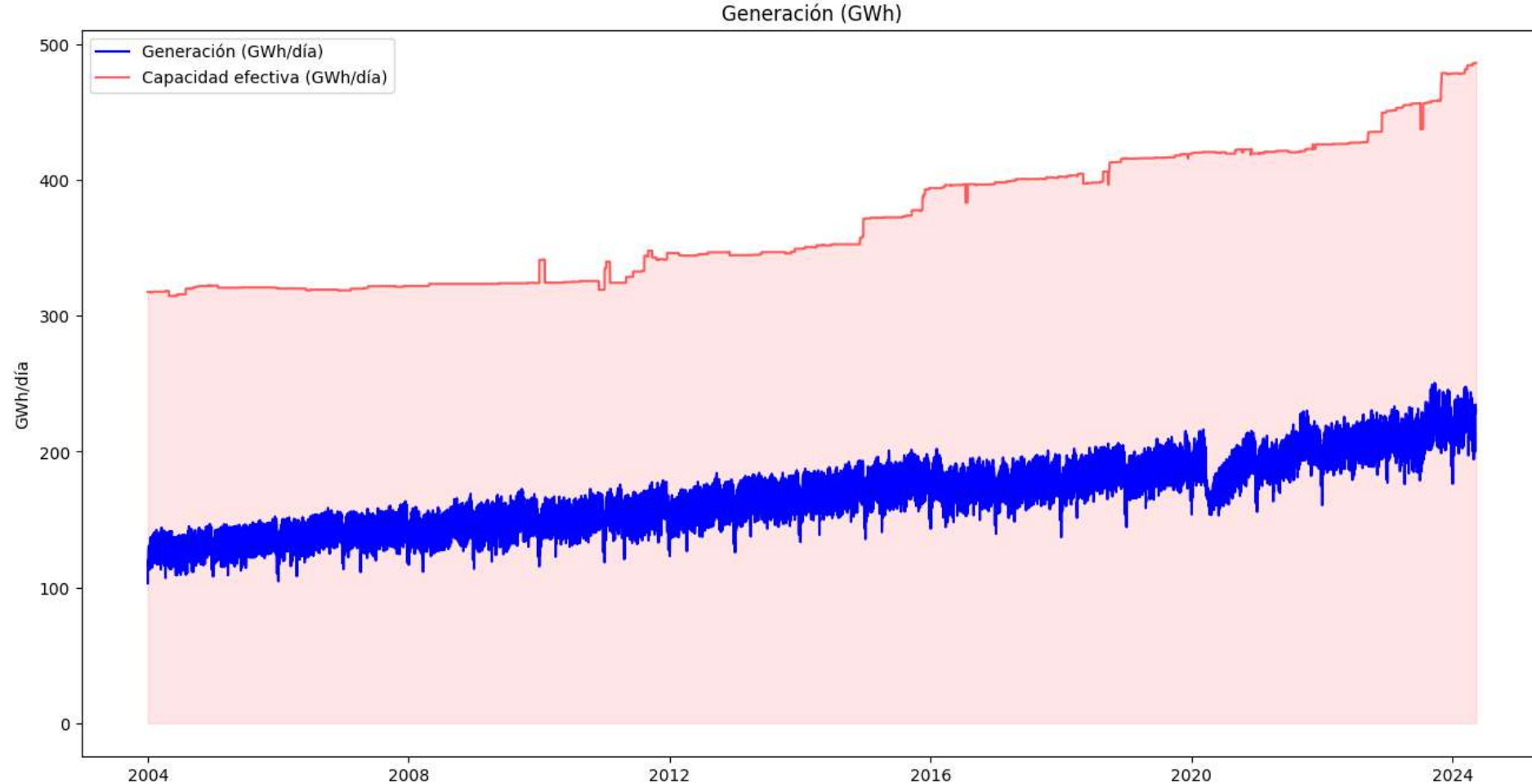
Fuente de los datos: Compañía de Expertos en Mercados (XM).

Capacidad instalada de generación existente (mayo 2024)



Fuente de los datos: Compañía de Expertos en Mercados (XM).

Capacidad versus demanda de electricidad



Por su parte, la demanda de electricidad en Colombia ha aumentado un 85% desde 2004, lo que supera el aumento del 57% en la capacidad efectiva de generación del sistema..



Sostenibilidad ambiental – Transición energética



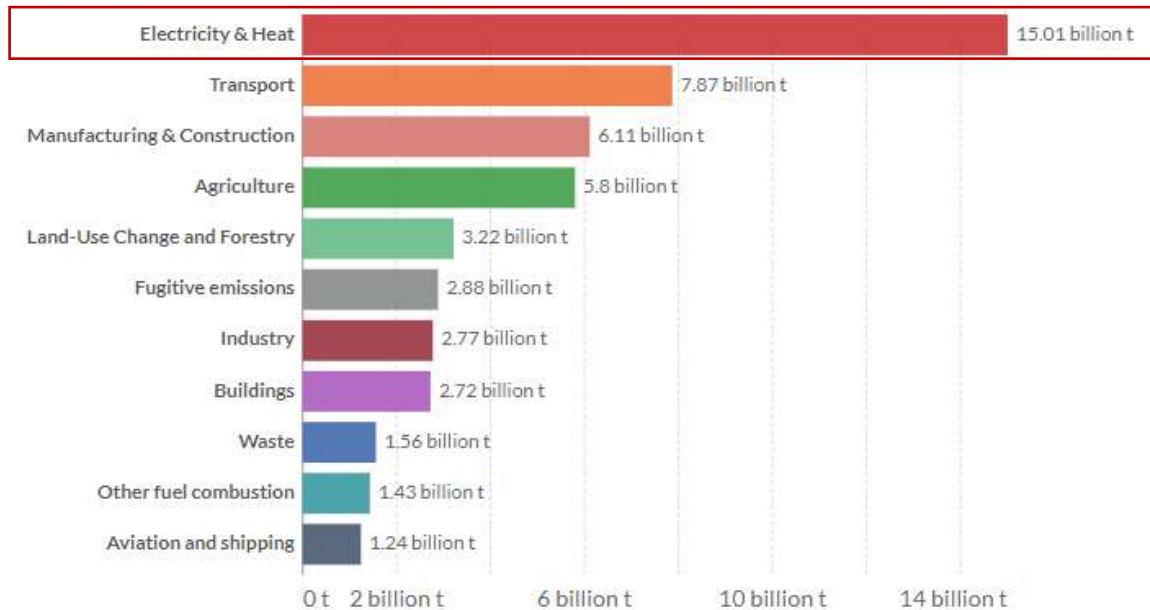
Emisiones GEI por sectores

Greenhouse gas emissions by sector, World, 2016

Greenhouse gas emissions are measured in tonnes of carbon dioxide-equivalents (CO₂e).

Our World in Data

Change country



Source: CAIT Climate Data Explorer via. Climate Watch

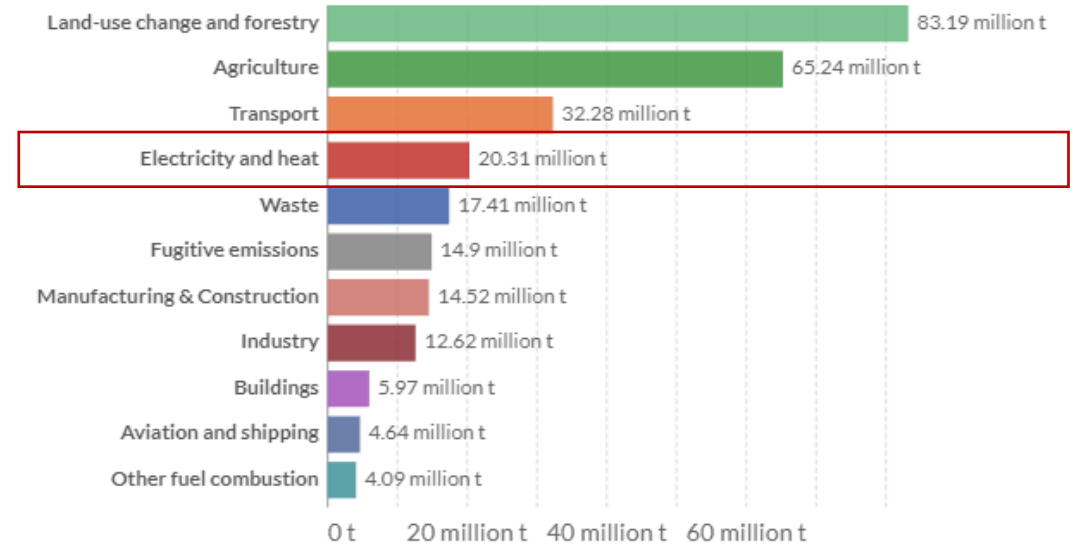
OurWorldInData.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions • CC BY

Greenhouse gas emissions by sector, Colombia, 2019

Emissions are measured in carbon dioxide equivalents (CO₂eq). This means non-CO₂ gases are weighted by the amount of warming they cause over a 100-year timescale.

Our World in Data

Change country



Source: Our World in Data based on Climate Analysis Indicators Tool (CAIT).

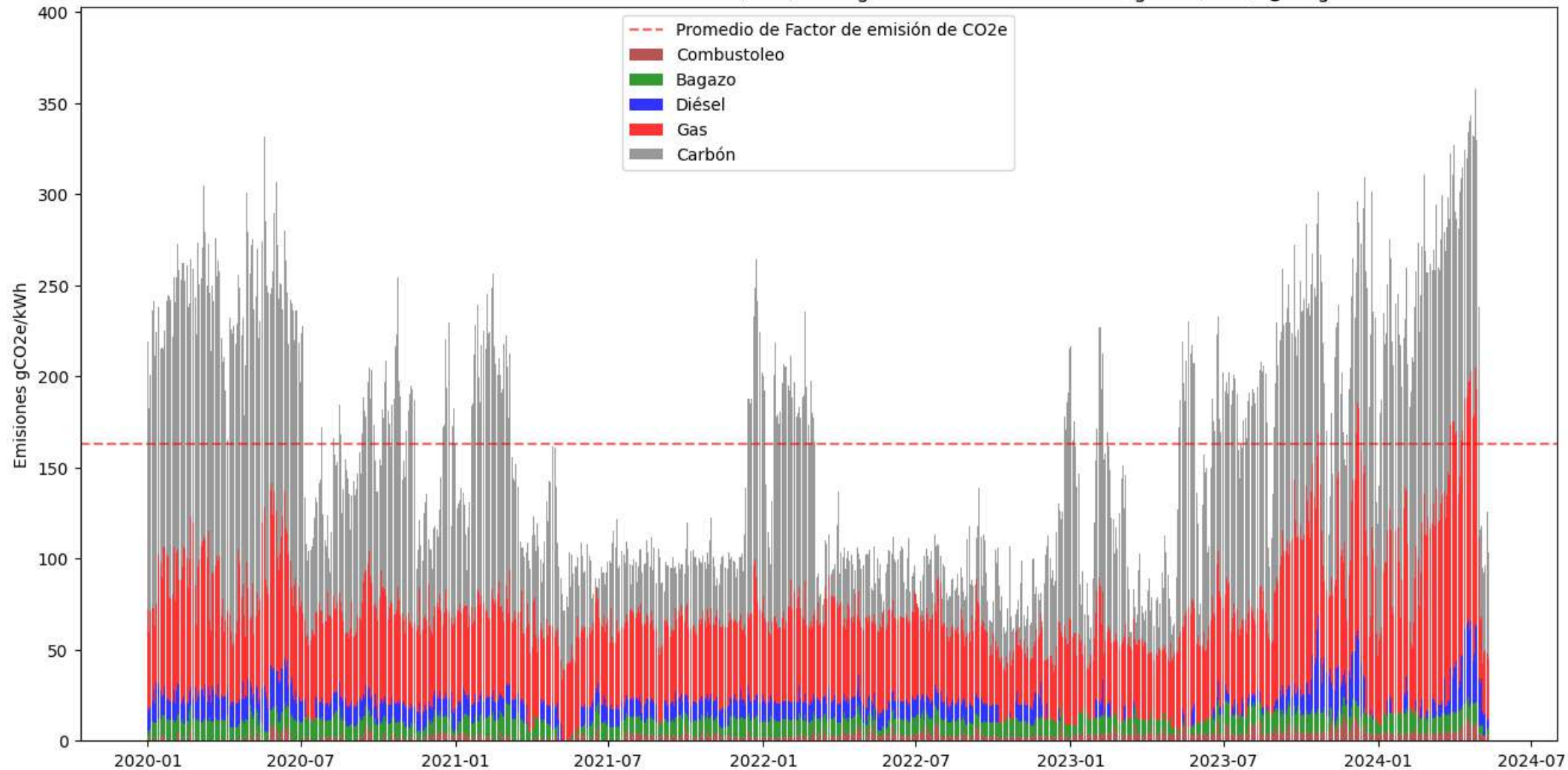
OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions • CC BY

La agricultura, el sector forestal y cambio de uso de suelo (AFOLU) son los principales responsables de más de la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia.

Fuente: <https://ourworldindata.org/co2/> & <https://www.climatewatchdata.org/>

Factor de emisiones de gCO2e/kWh

La intensidad de las emisiones de dióxido de carbono (CO2) de la generación de electricidad (gCO2e/kWh) @SergioCabrales

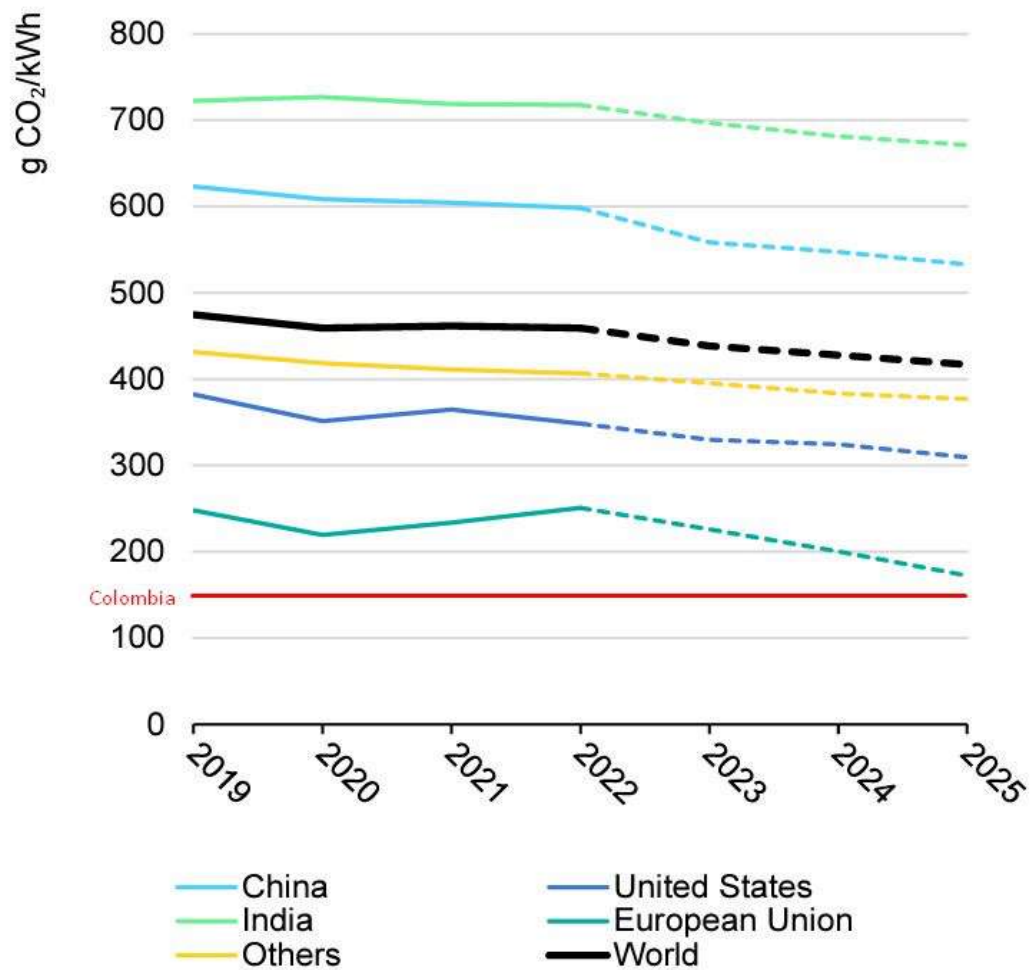


Fuente de los datos: XM



Factor de emisiones de gCO₂e/kWh

Regional evolution of power system CO₂ intensity, 2019-2025



Accesibilidad energética

Costo(CU) de la electricidad

$$CU_{n,m} = G_m + T_m + D_{n,m} + C_{v,m} + PR_{n,m} + R_m$$

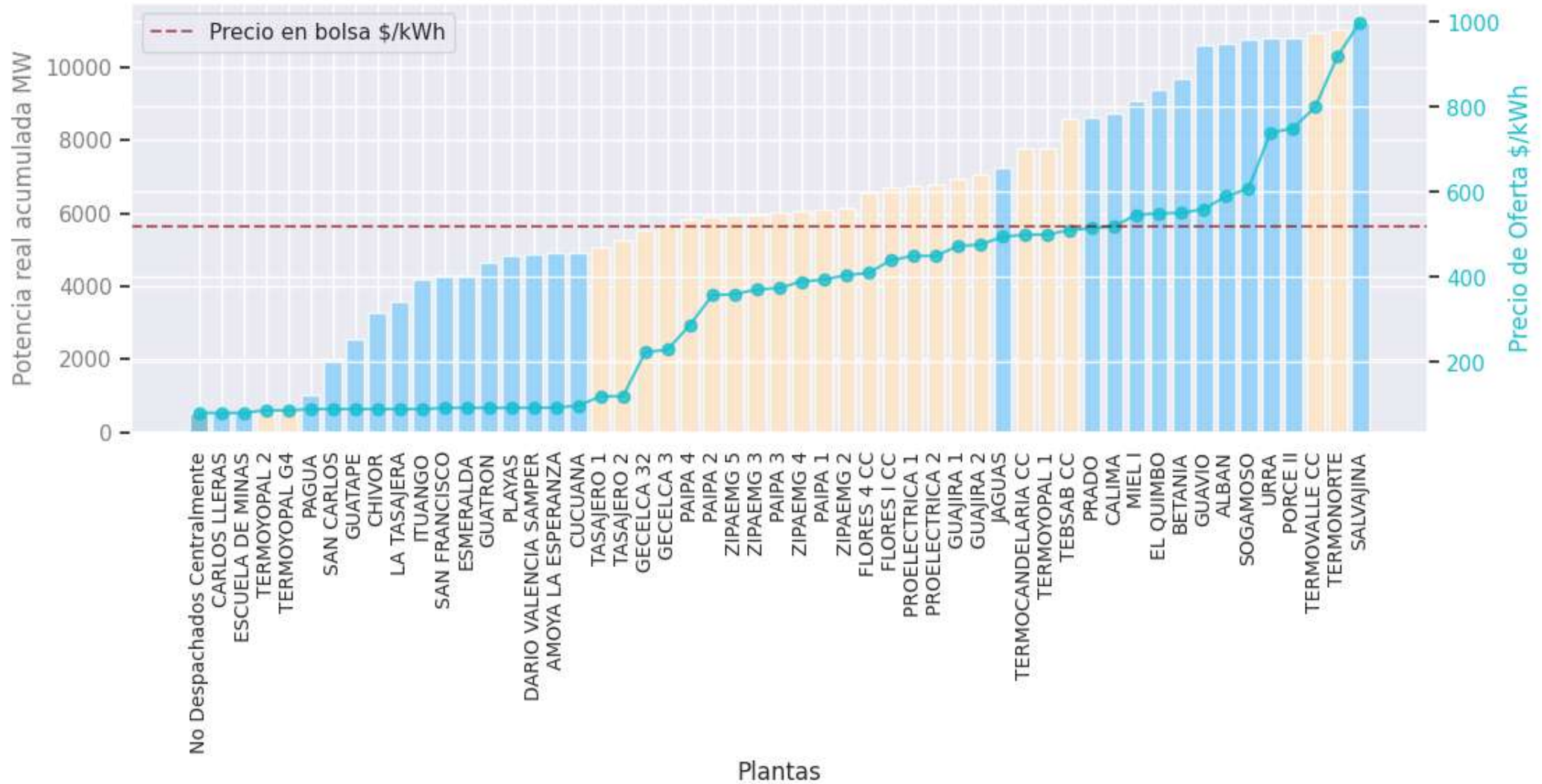
Generación 30%
Transmisión 7%
Distribución 40%
Comercialización 13%
Pérdidas 7%
Restricciones 3%

COMPONENTE	RESOLUCIÓN	DEFINICIÓN DEL COMPONENTE	EXPLICACIÓN	FACTORES DE VARIACIÓN
Generación: <u>G_{m,i,j}</u>	Resolución CREG 119 de 2007, modificada por la Resolución CREG 030 de 2018 y Resolución CREG 129 de 2019, Resolución CREG 101 002 de 2022.	Costo de compra de energía (\$/kWh) para el mes m, del comercializador minorista	Costo de compra de energía en bolsa o por medio de contratos a largo plazo.	Contratos: Indexación por medio de IPC Bolsa: Varía hora a hora de acuerdo con las condiciones del mercado
Trasmisión: <u>T_m</u>	Resolución CREG 011 de 2009	Costo por uso del Sistema Nacional de Trasmisión (STN) (\$/kWh) para el mes m. Liquidado por LAC	Es el valor único para todos los comercializadores con el cual se paga el transporte de energía de las plantas generadoras hasta las redes del STR	La actualización se realiza con el índice de Precios al Productor (IPP). Varía mensualmente por las variaciones en la demanda.
Distribución: <u>D_{n,m}</u>	Resolución CREG 015 de 2018, para los agentes que no tienen ingresos regulados con esta resolución les aplica la Resolución CREG 097 de 2008	Costo por uso del Sistema de Distribución (STR) (\$/kWh) correspondiente al nivel de tensión n para el mes m. Los cargos para remunerar los define la LAC.	Corresponde al valor que se paga por transportar la energía desde el STN hasta el usuario final a través del STR.	La actualización se realiza con el índice de Precios al Productor (IPP). Varía mensualmente
Comercialización: <u>C_{v,m,i,j}</u>	Resoluciones CREG 180, modificada por la Resolución CREG 019 de 2018 y resolución CREG 191 de 2014	Margen de comercialización correspondiente al mes m, del comercializador minorista. (\$/kWh)	Margen de la actividad, riesgo de cartera, contribuciones, pagos al administrador del mercado.	La actualización se realiza con el índice de Precios al Consumidor (IPC). Varía mensualmente.
Restricciones: <u>R_{m,i}</u>	Resolución CREG 119 de 2007	Costo de restricciones y de Servicios asociados con generación asignados al Comercializador Minorista i en el mes m. (\$/kWh)	Corresponde a los costos de la generación más costosa que debió utilizarse para que el STN opere de manera segura y/o por las limitaciones de su red.	Es variable por cuanto depende principalmente de la magnitud de la disponibilidad de los activos de trasmisión. Varía mensualmente.
Pérdidas: <u>PR_{n,m,i,j}</u>	Resolución CREG 119 de 2007 modificada por la Resolución CREG 173 de 2011	Costo de compra, transporte y reducción de pérdidas de energía acumuladas hasta el nivel de tensión n, para el mes m, del comercializador minorista.	Corresponde al costo reconocido de pérdidas de energía que por razones técnicas o no técnicas	Varía por empresa de acuerdo al costo aprobado.

Fuente: Superservicios

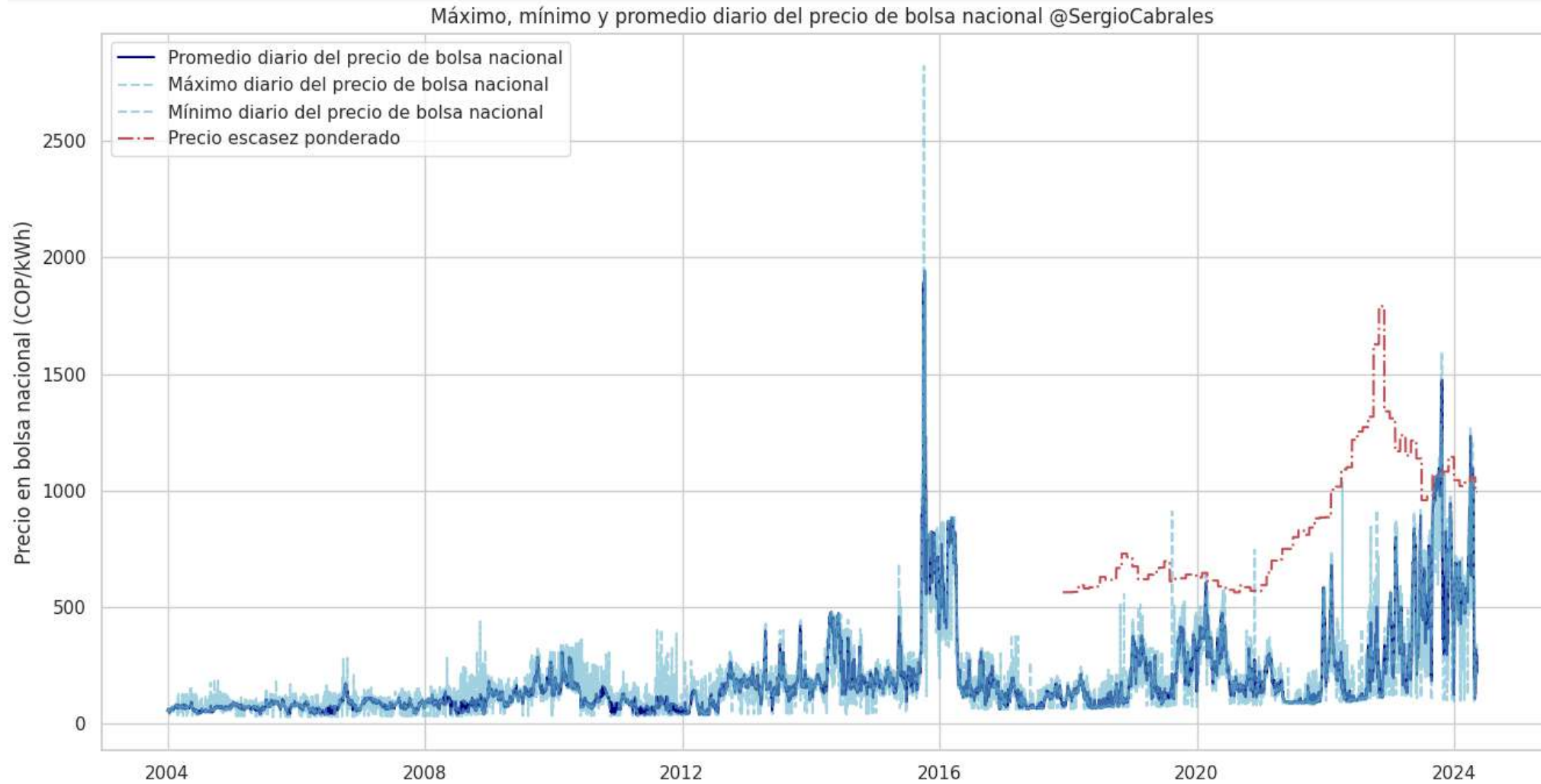
Generación (G) – Precio bolsa

Despacho real de generación - 2024-02-28 - Hora: 20



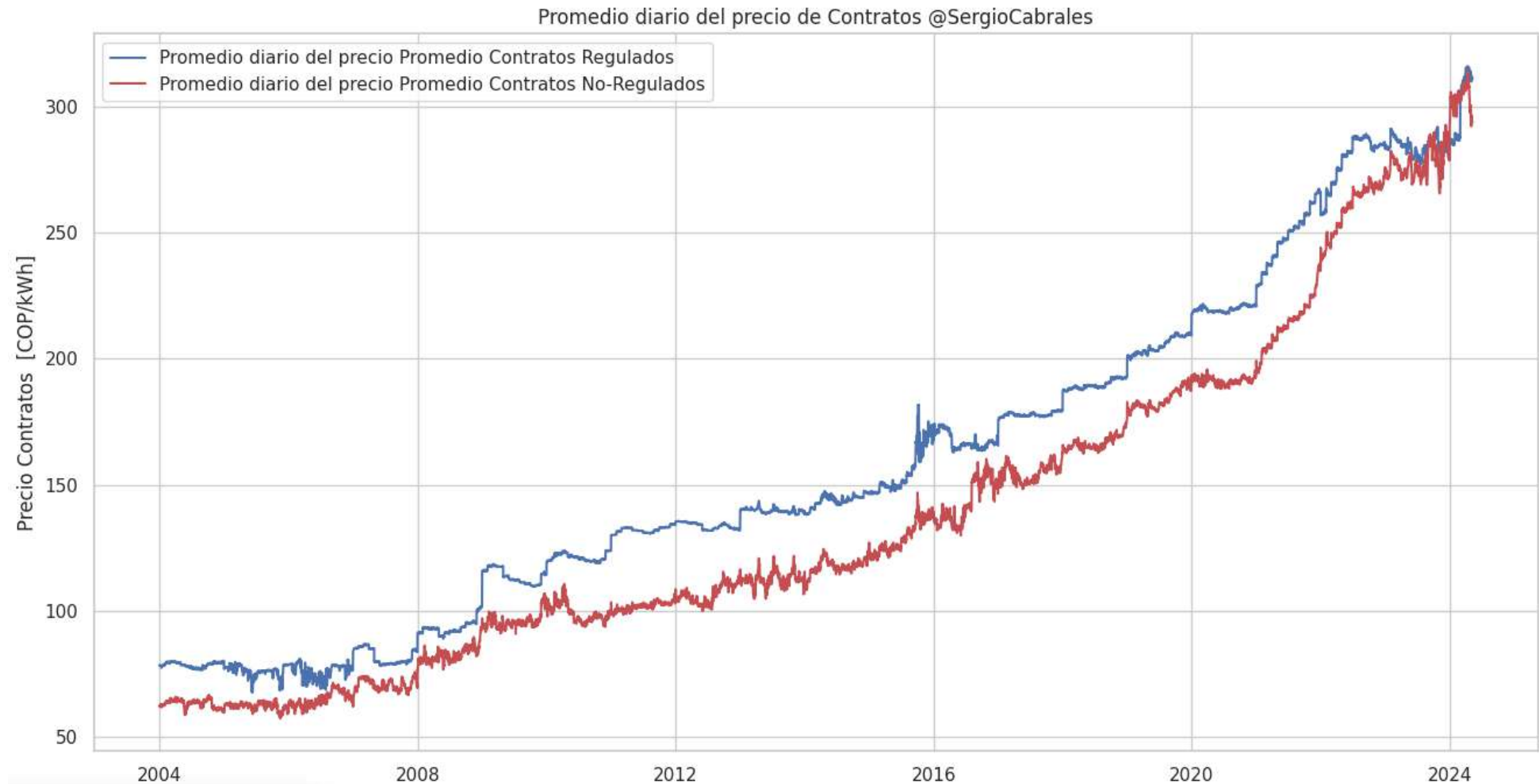
Fuente de los datos: Compañía de Expertos en Mercados (XM).

Generación (G) – Precio bolsa



Fuente de datos: Compañía de Expertos en Mercados (XM).

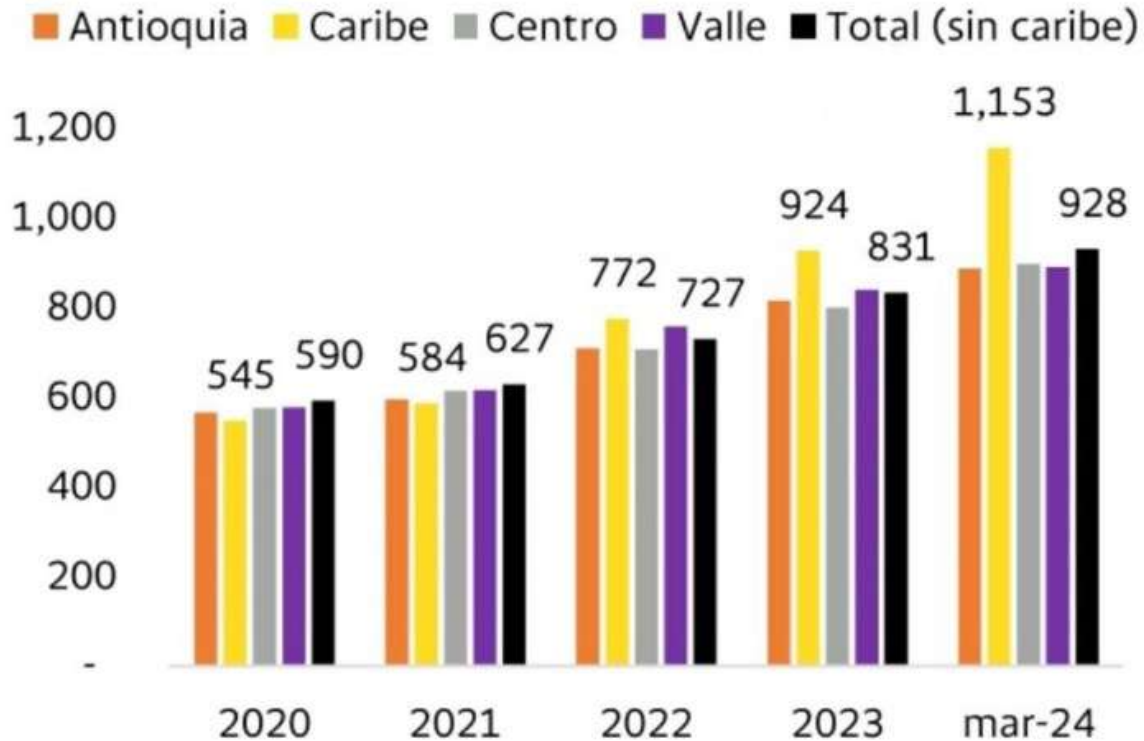
Generación (G) – Contratos regulados y no-regulado



Fuente: Compañía de Expertos en Mercados (XM).

Tarifas al usuario residencial (\$/KWh)

Tarifas al usuario residencial estrato 4 promedio por región COP/kWh



Fuente: Superintendencia Serv. Públicos, elaborado por Grupo Bancolombia.

En los últimos cuatro años, las tarifas de electricidad en el Caribe han aumentado un 112%, pasando de \$545/kWh en 2020 a \$1,153/kWh en 2024, casi duplicando el incremento en comparación con el resto de Colombia, donde las tarifas aumentaron un 57%, pasando de \$590/kWh en 2020 a \$928/kWh en 2024.

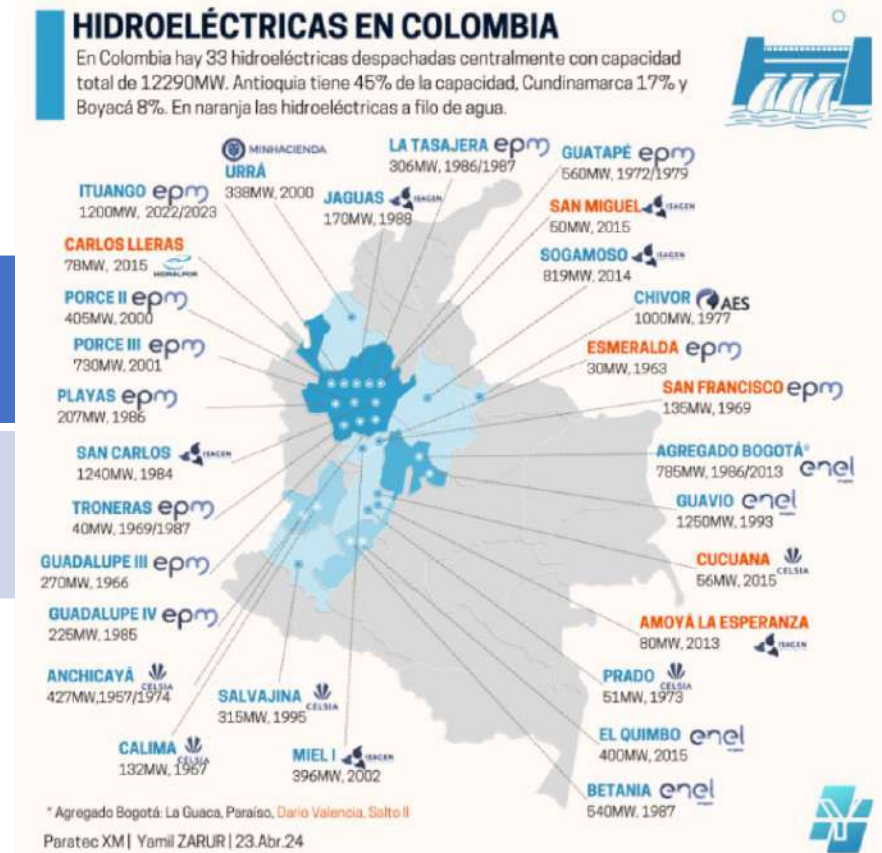
Fuente: Grupo Bancolombia



Componentes de la solución: no existe una solución dominante

Hidroelectricidad - Agua

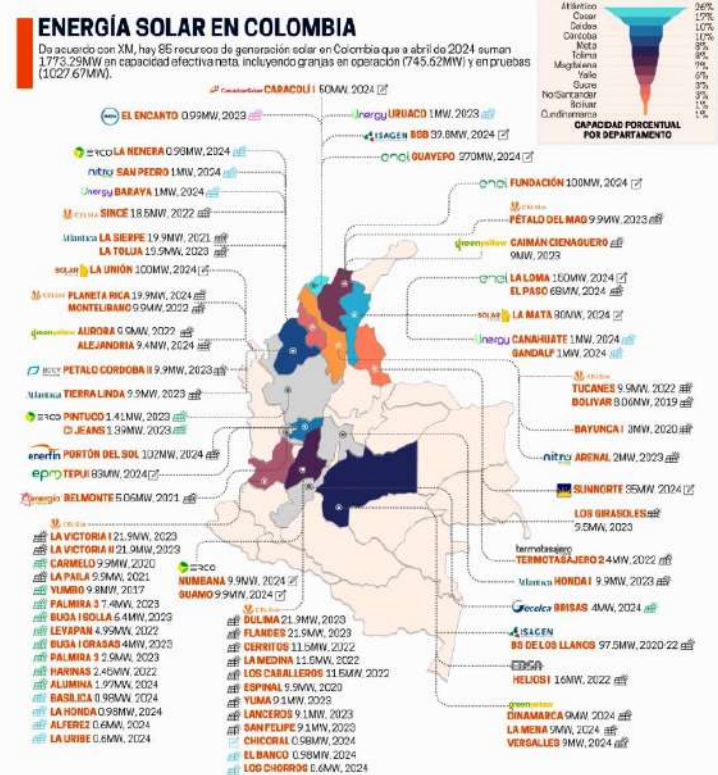
Fuente	Costo de producción	Riesgo de disponibilidad	Densidad de energía y potencia	Contaminación por GEI	Agotamiento
Agua	Competitivo	Depende del nivel de los embalses	Baja	Baja	No



Fuente: Benavides, J., Cabrales, S. & Delgado, M. E. (2022). Transición energética en Colombia: política, costo de la carbono – neutralidad acelerada y papel del gas natural. Bogotá: Fedesarrollo, 51 p. y Yamil Zarur

Electricidad Renovable no convencional – Sol y Viento

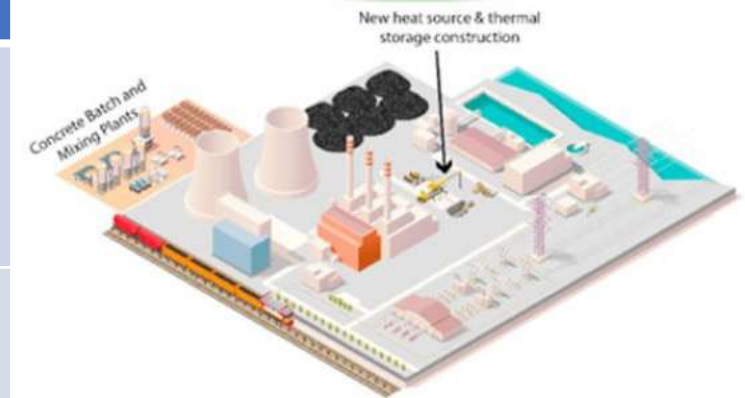
Fuente	Costo de producción	Riesgo de disponibilidad	Densidad de energía y potencia	Contaminación por GEI	Agotamiento
Solar	Competitivo cuando está disponible	Alto	Baja	Baja	No
Viento	Competitivo cuando está disponible	Alto	Baja	Baja	No



Fuente: Benavides, J., Cabrales, S. & Delgado, M. E. (2022). Transición energética en Colombia: política, costo de la carbono – neutralidad acelerada y papel del gas natural. Bogotá: Fedesarrollo, 51 p., Yamil Zarur

Otros – Baterías, hidrogeno y nuclear

Fuente	Costo de producción	Riesgo de disponibilidad	Densidad de energía y potencia	Contaminación por GEI	Agotamiento
Baterías	No competitivo	Restringida por la duración de la batería	Baja	Baja	No
Hidrógeno	No competitivo	Bajo	Alta	Baja	No
Nuclear	Competitivo	Bajo	Baja	Baja	No



Fuente: Benavides, J., Cabrales, S. & Delgado, M. E. (2022). Transición energética en Colombia: política, costo de la carbono – neutralidad acelerada y papel del gas natural. Bogotá: Fedesarrollo, 51 p., Haneklaus, N., Qvist, S., Gładysz, P., & Bartela, Ł. (2023). Why coal-fired power plants should get nuclear-ready. Energy, 280, 128169. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128169>

¡Muchas Gracias!



<http://www.SAC2.com>

@SergioCabrales

