

# OPORTUNIDADES PARA LAS HIDROELÉCTRICAS EN EL CONTEXTO DE ALTA PENETRACIÓN SOLAR Y EÓLICA

David Delgado Rendón, Universidad Nacional de Colombia, [ddelgadore@unal.edu.co](mailto:ddelgadore@unal.edu.co)  
 Carlos Jaime Franco Cardona, Universidad Nacional de Colombia, [cjfranco@unal.edu.co](mailto:cjfranco@unal.edu.co)

## Descripción general

La expansión de la capacidad de generación en Colombia en los próximos años será principalmente a través de plantas solares y eólicas. En este contexto, las hidroeléctricas existentes enfrentarán varios retos que podrían afectar sus ingresos, como la disminución de los precios y el aumento de la volatilidad del precio de bolsa, por lo que es necesario encontrar nuevas alternativas de negocio que permitan mantener y aumentar la rentabilidad de las hidroeléctricas, y aprovechar sus fortalezas. Esta investigación tiene el objetivo de evaluar oportunidades de negocio para centrales hidroeléctricas existentes en Colombia, en el contexto de alta penetración de solar y eólica. Para esto, se desarrolló un modelo dinámico sensible a los cambios en el sistema eléctrico derivados de la alta penetración de renovables variables, y con éste se evaluaron las siguientes alternativas de negocio:

Servicios complementarios: consiste en habilitar o ampliar la capacidad de prestación de servicios complementarios de una hidroeléctrica existente, para aumentar sus ingresos.

Aumento de potencia: consiste en aumentar la capacidad efectiva neta de una central hidroeléctrica, realizando modificaciones sobre sus equipos e infraestructura, para que pueda turbinar más agua, y con esto aumentar sus ingresos por venta de energía en períodos específicos.

Aumento de eficiencia: consiste en aumentar la eficiencia global de una central hidroeléctrica, realizando modificaciones en sus equipos, y con esto aumentar sus ingresos por la venta de energía.

Los resultados muestran que los tres negocios tienen alto potencial.

## Métodos

Se desarrolló un modelo dinámico usando el software *Powersim Studio* para calcular el despacho de cantidades de generación de cada tecnología y los precios de bolsa horarios, con un horizonte entre los años 2023 y 2034. Este modelo se utilizó para evaluar cada alternativa de negocio, para dos hidroeléctricas que sirven de *benchmark*, las cuáles se diferencian en potencia instalada y capacidad de almacenamiento.

El modelo incluye un módulo de *Oferta Hidráulica* que calcula la curva agregada de precio de oferta de las centrales hidroeléctricas despachadas centralmente, para cada día de la simulación.

Para esto, se construyó la ecuación (1) que relaciona el precio de oferta ( $P$ ) con el nivel de reservas agregadas en los embalses ( $R$ ), el pronóstico de aportes futuros de los seis meses siguientes ( $A$ ), y la demanda de energía de cada periodo ( $D$ ):

$$P = k_1 + k_2(R^{k_3} * A^{k_4})^D \quad (1)$$

donde  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  y  $k_4$  son constantes halladas a través de una regresión multivariable de *Mínimos Cuadrados No Lineales*, sobre los datos históricos de precio de ofertas diarias entre los años 2010 al 2019, restando los recaudos e impuestos, para considerar solo el precio neto real de la energía.

El modelo se evaluó en cuatro escenarios, contruidos combinando dos variables que podrían influir en el comportamiento futuro del sistema: la composición de la expansión de capacidad solar y eólica, y los precios de oferta de la generación térmica. Escenario 1: proporción de energía solar/eólica de 70/30 y precios de térmicas base; Escenario 2: solar/eólica 30/70 y precios base; Escenario 3: solar/eólica 70/30 y precios altos; y Escenario 4: solar/eólica 30/70 y precios altos.

## Resultados

Servicios complementarios (Figura 1): El negocio presenta resultados muy positivos. Incluso asumiendo una alta fatiga del rodete de la turbina, por la prestación del servicio de regulación secundaria, se tienen ingresos altos por cada MW de aumento de rango operativo, comparado con la inversión necesaria.

Aumento de potencia (Figura 2): En todos los escenarios los ingresos potenciales se encuentran por encima del caso de inversión favorable, lo que significa que se tiene potencial de configurar un proyecto con viabilidad financiera.

Aumento de eficiencia (Figura 3): Los resultados generales son positivos para ambas centrales. En la mayoría de los casos, los ingresos se encuentran en el rango de inversión de referencia, o son superiores a este.

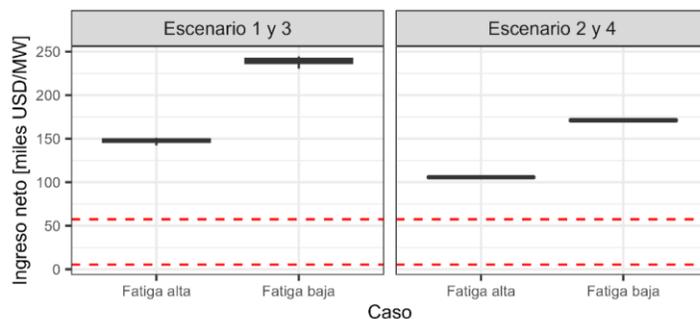


Figura 1. Valor presente del ingreso neto por regulación secundaria – asumiendo remuneración con la fórmula actual. Las líneas rojas punteadas son los valores de inversión de los casos ilustrativos.

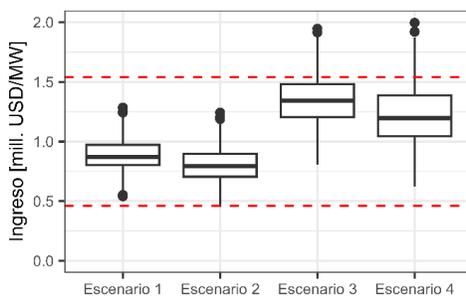


Figura 2. Valor presente de los ingresos netos por cada MW de aumento de potencia

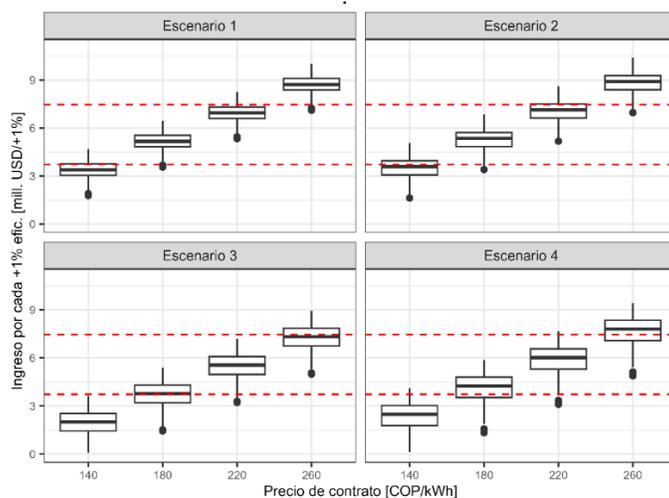


Figura 3. Valor presente de los ingresos netos por cada +1% de aumento de eficiencia – Hidroeléctrica 1. Las líneas rojas punteadas representan los casos favorables y desfavorables de inversión.

## Conclusiones

**Servicios complementarios:** La incursión masiva de generación solar y eólica aumentará la demanda de regulación secundaria y terciaria. Los resultados sugieren que los ingresos potenciales por prestación de estos servicios podrían ser superiores a la inversión necesaria para habilitar o aumentar el rango operativo necesario.

**Aumento de potencia:** La incursión masiva de generación solar y eólica disminuirá el despacho de las hidroeléctricas. El aumento de potencia de la hidroeléctrica ayudaría a contrarrestar este efecto, ya que permitiría generar más en los periodos de mayor precio, y aprovechar mejor los excesos de recurso hidráulico (disminuyendo los vertimientos). Los resultados muestran que los ingresos potenciales serían suficientes para compensar proyectos de baja inversión.

**Aumento de eficiencia:** El aumento de eficiencia global de la hidroeléctrica permitiría comprometer más energía en contratos. Esto representaría ingresos adicionales, asumiendo que se tiene un precio de contrato adecuado. Los resultados muestran que los ingresos potenciales serían suficientes para compensar la inversión en este tipo de proyectos.