

# Combinación óptima de tecnologías en generación de energía para un mercado Latinoamericano

Mónica A. Arango Arango<sup>1</sup>

Sergio Botero Botero<sup>2</sup>

Palabras clave: Modelo Black—Litterman, valoración de costos, riesgo, valoración de proyectos, mercado de energía

La expansión de la capacidad instalada en los mercados de generación de energía se ha transferido en gran medida a los inversionistas privados, quienes gozan de la posibilidad de participar en un mercado de estructura competitiva, originada por las tendencias internacionales que han reestructurado el sector energético. Para tomar la decisión de incrementar la capacidad e identificar el momento adecuado, es necesario modelar y pronosticar los riesgos que involucran las diferentes estrategias, ya que como lo advierte las inversiones realizadas en la generación de energía son intensivas en capital, con retornos de largo plazo y con un alto nivel de costos hundidos. Sin embargo, dichas decisiones poseen un alto nivel de flexibilidad, de forma que durante el proceso de evaluación y ejecución del proyecto es posible distinguir etapas, decisiones secuenciales y flexibilidad operacional.

Desde la física de la electricidad, se puede aprender que la demanda y la generación de energía deben coincidir entre si continuamente, ya que la tecnología actual no da ninguna posibilidad de almacenar electricidad. Adicionalmente, su dependencia del comportamiento del clima convierte la producción en una variable estacional. Otro aspecto que los diferencia se explica por la inelasticidad del consumo causada por la necesidad de demandar a pesar de incrementos en su precio, ya que la electricidad es considerada una fuente vital para el desarrollo social y económico de cualquier país (Jebaraj & Iniyar, 2006).

Las singularidades del mercado de energía demanda la necesidad de crear una infraestructura institucional y regulatoria, compleja que asegure el abastecimiento de manera eficiente. En este contexto, los cambios económicos mundiales han creado nuevas propuesta regulatorias destinadas a mejorar la seguridad energética, promover su ahorro y mejorar su uso; diversificar los riesgos; fomentar la equidad social en el acceso y consumo de energía (Acquatella, 2008).

De este modo, El objetivo principal de la reestructuración de los sistemas energéticos y la desregulación ha sido la búsqueda por asegurar la cobertura, así como la prestación continua y eficiente del servicio generada a un costo mínimo mediante la introducción de la competencia en el sector y la oferta de una gama más amplia de opciones a los participantes del mercado. Hay dos

---

1 Economista, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Estudiante de doctorado en Ingeniería Industria y organizaciones, Universidad Nacional de Colombia. Magíster en Administración Financiera y Magíster en Finanzas, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia. Especialista en Finanzas, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia. Profesora tiempo completo, Programa de Ingeniería Financiera, Universidad de Medellín, Medellín, Colombia. Miembro activo del Grupo de Investigación en Ingeniería Financiera GINIF. Carrera 87 N° 30 - 65 Medellín, Colombia. Teléfono +57(4) 3405288. Correo electrónico: [moarango@udem.edu.co](mailto:moarango@udem.edu.co)

2 George Washington University (GWU), Washington DC, Estados Unidos. Doctor en Ciencias (Doctor of Science) Graduación en mayo de 2002, Catholic University of America (CUA), Washington DC, Estados Unidos; Magister en Ciencias de Ingeniería (Master of Science in Engineering, Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), Medellín, Colombia; Ingeniero Mecánico. [boterobotero@hotmail.com](mailto:boterobotero@hotmail.com), [sbotero@unal.edu.co](mailto:sbotero@unal.edu.co)

cambios significativos que han tenido un impacto en las empresas de generación de energía: en primer lugar, la restricción de la integración vertical en la cadena productiva, compuesta por generación, transporte, distribución y comercialización. Y en segundo lugar, los cambios en regulación que afectan la volatilidad de los precios.

Estos cambios han incentivado el desarrollo de contribuciones académicas, dirigidas a abordar los diferentes temas a través de la construcción y aplicación de modelos estadísticos y de optimización, que se han propuesto con el fin de pronosticar la demanda y los precios de la energía eléctrica (Fleiter, Worrell, & Eichhammer, 2011). La literatura revela la importancia de abordar estos temas desde diferentes ángulos: desde el punto de vista de los reguladores, quienes buscan eficiencia en el sistema y maximización del bienestar del consumidor; desde la óptica de las firmas generadoras que continuamente diseñan estrategias para maximizar sus beneficios y buscan gestionar los riesgos a los que se encuentran expuestas. Y desde los mercados financieros en los que negocian productos estructurados cuyo precio depende esencialmente de la capacidad de producción y de su comercialización (Caravia & Saavedra, 2007)

Adicional a las complejidades que se han presentado, es necesario resaltar la importancia de los costos en la determinación del comportamiento del mercado. Los costos de producción se consideran la principal base para establecer los precios de los generadores de energía. En el caso de la generación de energía térmica, se cuenta con un “balance” entre sus costos fijos (inversión anualizada, mantenimiento fijo, entre otros), y costos variables (tales como, combustible, mantenimiento asociado a las horas de operación, entre otros).

En contraste, los costos de la generación de energía hidroeléctrica son en su mayoría fijos, debido a que el proceso se realiza mediante la concentración de gran cantidad de agua en una presa. En este caso el flujo significativo del costo se hace cuando se construye la represa. Sin embargo, sus costos fijos son muy bajos, comparados con las variaciones de los precios de mercado. La literatura concentra su contribución en la explicación de los determinantes cuantitativos de la variabilidad de los precios (Fleiter, et al., 2011), (Jebaraj & Iniyar, 2006).

La volatilidad de los precios en su mayoría responde a expectativas, con respecto a la cantidad de recursos hídricos y de combustibles disponibles en el futuro para cubrir los requerimientos del mercado y las estrategias de los agentes que participan. La alta volatilidad en el mercado de la electricidad fomenta las creaciones de los modelos que permiten la cobertura de los riesgos y la maximización de beneficios a las empresas participantes. El desarrollo en esta línea de estudio ha propuesto la creación de nuevos productos financieros y la valoración de proyectos, dejando a futuras investigaciones el análisis de los riesgos corporativos.

Los responsables de plantear las políticas tienen diferentes herramientas a su disposición para establecer un marco adecuado para tratar de orientar las inversiones de plantas de energía en una dirección deseada. Cuando el objetivo es una estrategia a largo plazo de suministro y un mix de generación, es preferible la suficiente diversificación de las fuentes de energía (tanto en términos de combustibles como de tecnologías). Una forma de determinar cuantitativamente esta diversificación es por medio de la teoría de la cartera. En este contexto, este trabajo presenta una estimación de *asset allocation* basado en el modelo de optimización de Black—Litterman para determinar la cantidad a invertir en diferentes tecnologías de generación de electricidad y combustibles, que permitan determinar la combinación óptima de mínimo costo y riesgo en un mercado latinoamericano. Para lo cual se partirá de la construcción de flujos de caja con los costos asociados a cada tecnología y se modela las volatilidades de las variables de entrada a través de modelos ARMA y GARCH.

A pesar de la participación que tiene la generación térmica en los mercados internacionales, en la región latinoamericana el crecimiento del precio exponencial del carbón sugiere una preferencia por buscar nuevas alternativas de generación, y la necesidad de crear mix que permitan la minimización de los riesgos en los proyectos de inversión al menor costo posible.