

## Herramientas Informáticas para Estudiar y Simular Despachos Económicos con diversas Fuentes de Generación

*Sebastián MORALES<sup>1</sup>, Hugo A., CARDONA<sup>2</sup>*

*Universidad Pontificia Bolivariana, Cir 1#70-01, B11, Medellín, Colombia  
sebastian.moralesgo@alfa.upb.edu.co<sup>1</sup>, hugo.cardona@upb.edu.co<sup>2</sup>*

Resumen: La Universidad Pontificia Bolivariana, en el marco institucional que busca desarrollar estrategias para la gestión del conocimiento, donde se pretende promover una cultura científica y de investigación en toda la comunidad universitaria, los autores han desarrollado un par de herramientas informáticas didácticas con acceso libre desde la web, que permiten a los usuarios desarrollar estudios económicos sobre el funcionamiento de los mercados eléctricos, basados en sistemas de generación hidrotérmica con fuentes alternativas (solar y eólica), a partir de los principios básicos que modelan los despachos económicos de un mercado spot o mercado a corto plazo.  
**Copyright © 2013 UPB**

Abstract: The Pontificia Bolivariana University, at the institutional framework that looks for developing knowledge management strategies, where its purpose is promoting a scientific research culture at whole university community, authors have developed a couple of computing didactic tools with free access web, that allow users develop economic studies about electric markets administration, based on hydrothermal systems generation with alternative (solar and eolic), starting from the basic principles that models the economic dispatch of a spot market or short term market.

Keywords / Palabras clave: economic dispatch, hydrothermal system, situational awareness, power system economics, knowledge management, wholesale market, supply and demand / despacho económico, sistema hidrotérmico, consciencia situacional, economía de los sistemas de potencia, gestión del conocimiento, mercado mayorista, oferta y demanda.

## 1. INTRODUCCIÓN

A nivel global, la población humana no para de crecer, ello implica que cada día es necesario encontrar nuevas fuentes de energía para satisfacer la demanda presente y futura. Este fenómeno trae consigo la necesidad de crear sistemas de control y administración más avanzados para operar los sistemas de potencia que cada día se vuelven más complejos debido al aumento de carga asociada a la demanda doméstica, comercial e industrial.

La volatilidad de los precios de los *commodities* energéticos y los fenómenos climáticos asociados al calentamiento global, aumentan los riesgos de encarecer el precio de la energía y la posibilidad de entrar en racionamientos en un sistema hidrotérmico. Es por eso que cada día se hace más necesario crear herramientas informáticas que simulen situaciones de estado estable y de contingencia para entrenar la consciencia situacional de los presentes y futuros operadores y administradores de los sistemas eléctricos de potencia, donde estos puedan desarrollar experimentos donde no se vean afectadas sus operaciones, se adelanten en el tiempo a posibles situaciones críticas y tengan argumentos claros para tomar las decisiones acertadas en la vida real.

Los simuladores o herramientas informáticas planteados y desarrollados en este proyecto, están basados en teorías y conocimientos de autores clásicos de textos en operación

económica de sistemas de potencia, además de proyectos previos que han sido desarrollados por estudiantes e investigadores de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Pontificia Bolivariana, en las áreas de pregrado y posgrado.

La ejecución de estas aplicaciones proponen mecanismos basados en teoría de juegos, donde los usuarios pueden simular distintos eventos y visualizar que podría pasar si esas situaciones cambian, desde diferentes perspectivas que el usuario puede modificar y observar, para luego concluir y ofrecer hipótesis a posibles soluciones.

## 2. GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

Las herramientas informáticas fueron desarrolladas en el marco de una cultura que la Universidad promueve basada en la Gestión del Conocimiento, donde este software puede ser gestionado por cualquier individuo que posea una computadora básica, ya que este fue diseñado para que pueda ser ejecutado desde internet o intranet. Este activo posibilita la captación, estructuración y transmisión del conocimiento fácilmente, ya que es un recurso que no exige al usuario la adquisición de nuevos programas o licencias que puedan obstaculizar su proceso de aprendizaje, logrando así que este recurso sea más sostenible en el tiempo. Los semilleros y grupos de investigación, con estas herramientas, facilitarán la producción científica y el relevo generacional. Es a través del aprendizaje individual y de procesos de captación, estructuración y transmisión de conocimiento, que podemos

acercarnos al concepto de investigación formativa como un activo intangible capaz de resolver nuevos retos y romper paradigmas. Las organizaciones aprenden haciendo y lo valida a través de la gestión del conocimiento. Si la Universidad es capaz de gestionar mejor el proceso de aprendizaje, puede trascender las fronteras gestadas a partir del concepto mismo de conocimiento tácito, lo cual puede aumentar su eficiencia social y de desarrollo humano. (Agudelo, Martínez y Ortíz, 2012)

### 3. CONTEXTO ECONÓMICO DEL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO

El mercado eléctrico colombiano funciona a partir de dos mecanismos de compraventa de energía. El primero es el de los contratos bilaterales o mercados de largo plazo, el cual consiste en acuerdos financieros para la compra y venta de energía entre agentes generadores y comercializadores, donde se negocia una parte del total de la energía, para atender un porcentaje o la totalidad de los compromisos comerciales del agente comprador. Estos contratos de largo plazo se registran ante el Administrador del Mercado de Energía Mayorista y no implican entregan física de la electricidad. El segundo mecanismo es la Bolsa de Energía o mercado a corto plazo, donde los generadores y comercializadores del mercado mayorista ejecutan intercambios de ofertas y demandas de energía día a día, para que el Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales (ASIC) liquide, recaude y distribuya los valores monetarios que corresponden a cada uno de los agentes. (Amador, 2007)

La Bolsa de Energía es el sistema de información, manejado por el Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales, en donde los generadores y comercializadores del mercado mayorista ejecutan actos de intercambio de ofertas y demandas de energía, hora a hora, para que el Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales ejecute los contratos resultantes en la Bolsa de Energía, y liquide, recaude y distribuya los valores monetarios correspondientes a las partes y a los transportadores. (CREG, 1995)

La capacidad efectiva neta instalada del Sistema Interconectado Nacional a diciembre 31 de 2012 fue de 14.361 MW, de los cuales el 64% corresponde a recursos hidráulicos, 30,8% a térmicos, 4,8% a menores y 0,4% a cogeneradores. Entre las menores se incluyen 18 MW de recursos eólicos, lo cual equivale al 0,12% de la capacidad neta. (XM: Descripción del SIN, 2012)

### 4. HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS

Las herramientas informáticas desarrolladas tienen como fin ser un recurso didáctico para ayudar a los estudiantes e investigadores a entender cómo funciona un mercado de energía desde dos principios fundamentales que explican el negocio y que implícitamente conviven juntos: desde la Bolsa de Energía y desde la existencia del recurso energético. Cada uno de estos principios está representado por una didáctica aplicación informática, las cuales resuelven el problema de cómo distribuir óptimamente la carga entre cada uno de los generadores eléctricos

para satisfacer la demanda del sistema de potencia para que el costo de esa distribución o despacho sea el menor posible, a partir de un método numérico de optimización basado en los Multiplicadores de Lagrange. (Saadat, 1999) (Wood y Wollenberg, 1996) (Grainger y Stevenson Jr., 1996) (Corredor, 1992) (Burgos, 2010) (Botero, Moreno, Ramírez y Villa, 1989)

#### *4.1. Herramienta # 1: Aproximación al Despacho Ideal en Colombia*

El despacho ideal se define como la programación de generación que se realiza a posteriori por el Sistema de Intercambios Comerciales (SIC), en la cual se atiende la demanda real con la disponibilidad real de las plantas de generación. Este despacho se realiza considerando las ofertas de precios en la Bolsa de Energía, las ofertas de Precios de Arranque-Parada, las ofertas de los enlaces internacionales y las características técnicas de las plantas o unidades para obtener la combinación de generación que resulte en mínimo costo para atender la demanda total del día, sin considerar la red de transporte. (CREG, 1995)

La oferta de energía por parte de un agente generador para el período de una hora está constituida por una disponibilidad de energía (dada en megavatios-hora ó MWh) y un precio de disponibilidad (dado en pesos colombianos por megavatio-hora ó \$/MWh). Toda la información respecto a las ofertas y demandas de los agentes puede ser visualizada por cualquier ciudadano pasado un mes después de la fecha presente. Estos datos están

guardados en documentos de texto plano separados por comas, los cuales permiten ser fácilmente manipulados para estudios en hojas de cálculo y/o lenguajes de programación. (Despacho Diario XM, 2013)

En base a esto, se ha desarrollado una aplicación que observa y gestiona los datos de oferta y demanda de los 24 períodos de un día en particular, para entregar una solución de despacho ideal. Aunque los resultados que se obtienen no son exactos ni precisos, debido a que en el algoritmo propuesto la curva de generación-costo (curva de costos incrementales) de cada planta eléctrica es interpretada como lineal rectilínea, además de que no se incluye los precios de arranque-parada de las plantas térmicas y no se tiene en cuenta las inflexibilidades del sistema, el software permite ayudarnos a ver en tiempo real cómo se comporta la distribución de carga y el costo marginal del despacho (precio de disponibilidad de la planta más costosa que entra en el despacho) cuando se realizan cambios en las ofertas y la demanda, como por ejemplo cuando una o varias plantas grandes no pueden disponer de energía para un período de tiempo dado por problemas técnicos-operativos o hay una demanda que no se puede atender por desconexión de una o varias líneas de transmisión. (Kirschen y Goran, 2004)

Una variedad de ejemplos ejecutados en esta aplicación están basados en los resultados de la Bolsa de Energía del miércoles 22 de mayo de 2013.

La Figura 1 muestra un pantallazo de la aplicación, donde se describe cómo se comportó el costo marginal en cada uno de los 24 períodos de ese día sin editar ningún dato de la información contenida en los documentos de texto de oferta y demanda descargados en la página web del administrador del mercado.

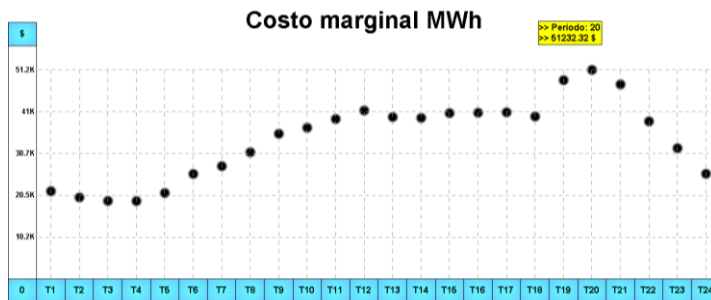


Figura 1. Comportamiento costo marginal las 24 horas del miércoles 22 de mayo de 2013. Imagen: El Autor.

En la Figura 1 se hace especial énfasis en el costo marginal de las 20:00 horas, el cual fue de 51.232,32 \$/MWh, y la demanda de 9.604 MWh. Se desea hacer especial énfasis en cómo se comportó la planta de Chivor en ese período, el cual tuvo una disponibilidad de 875 MWh a un precio de 110.000 \$/MWh, donde en este primer caso el software sugiere que esta planta despache 815,1 MWh.

Ahora vamos a suponer que la central Chivor para esa misma hora tiene planeada la indisponibilidad de varias de sus máquinas, y sólo tendrá disponibilidad de 700 MWh, al mismo precio de 110.000 \$/MWh. Ahora vemos que el costo marginal en ese período es de 54.248,39 \$/MWh, lo cual explica que la indisponibilidad de 175 MWh que pueda tener esta central a esa hora puede aumentar el costo marginal del despacho 1,0588 veces respecto a que no tuviera esa inflexibilidad. La Figura 2 muestra el comportamiento del costo marginal en los 24 períodos, señalando el costo marginal de la hora 20.

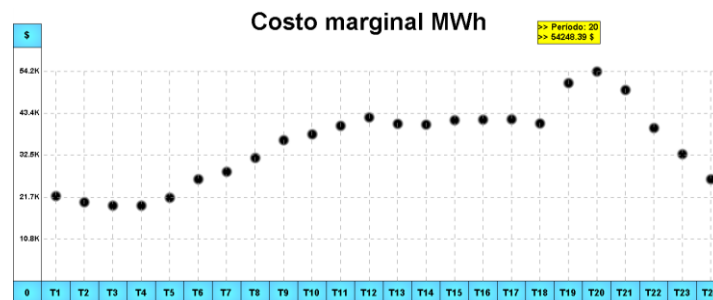


Figura 2. Comportamiento costo marginal las 24 horas del miércoles 22 de mayo de 2013 con indisponibilidad de 175 MWh de la central Chivor a las 20:00 horas. Imagen: El Autor.

En la Tabla 1 se puede observar organizadamente una serie de análisis a partir de los casos previamente vistos y nuevos que nos sirve para medir las potencialidades que ofrece la herramienta para desarrollar estudios de comportamiento del mercado, lo cual es útil para identificar el costo total del despacho, el cual es directamente proporcional al costo marginal.

El resultado del despacho ideal que indica cuanta energía debe suministrar cada central puede ser descargado de la aplicación en formato XML, el cual puede ser utilizado en cualquier programa de hojas de cálculo.

#### 4.1. Herramienta # 2: Simulador de Despachos Económicos con recursos Hidráulicos, Térmicos, Solares y Eólicos

Esta aplicación es mucho más abierta respecto a la anterior, ya que en esta debemos saber todas las características técnico-operativas de los embalses, las plantas filo de agua, las plantas térmicas y las alternativas (solar y eólica).

La aplicación permite diseñar a la medida parques de generación con cadenas hidráulicas de plantas con embalses y filo de agua, donde el caudal hídrico que reciben estas puede provenir de una o varias plantas aguas arriba o de un afluente natural.

Tabla 1. Casos de estudio desarrollados en la herramienta informática # 1.

<b>Caso</b>	<b>Costo marginal (CM) [\$/MWh]</b>	<b>Relación CM caso respecto a CM valor normal</b>
Demanda: 9.604 MWh Oferta: Sin edición de datos (valor normal)	51.232,32	1
Demanda: 9.604 MWh Oferta: Chivor 700 MWh @ 110.000 \$/MWh	54.248,39	1,0588
Demanda: 9.400 MWh Oferta: Sin edición de datos	48.216,17	0,9411
Demanda: 9.604 MWh Oferta: Chivor 700 MWh @ 135.000 \$/MWh	54.012,85	1,0542
Demanda: 9.700 MWh Oferta: Sin edición de datos	52.909,77	1,0327
Demanda: 9.604 MWh Oferta: Chivor sin disponibilidad, es decir, 0 MWh	70.957,67	1,3850

En la Figura 3 se puede observar un sistema hidráulico diseñado con la aplicación, el cual representa dos cadenas hidráulicas que al final se convierten en una. Este sistema tiene una capacidad instalada de 1.435 MW, de los cuales 125 MW dependen de las hidrologías, mientras que el restante depende de las reservas de los embalses. Supongamos que existe una demanda promedio del sistema de 800 MW, todos los embalses están llenos al 100% y hay una sequía extrema, donde las estrellas fluviales no aportan caudal natural (CPEF = Caudal Promedio de Estrellas Fluviales = 0), sólo se depende de las reservas de los embalses. Necesitamos saber cuánto dura el sistema satisfaciendo la demanda hasta entrar en racionamiento. La aplicación nos indica que, si realizamos estudios donde cada período es de 72 horas cada uno, o sea 3 días, el sistema hidráulico de generación debería entrar en racionamiento a los 16 períodos, o sea 48 días.

En la Figura 4 se puede observar el comportamiento del costo marginal de la energía, el cual siempre tiende a crecer, debido a que al desocuparse los embalses, el agua tiende a ser más costosa. La Figura 5 nos muestra cómo evoluciona el porcentaje de ocupación de agua en general de los tres embalses.

Si se desarrolla el mismo experimento pero esperando una temporada de hidrologías a un CPEF del 25%, la aplicación nos indica que en cerca de 165 días el sistema puede entrar en racionamiento.

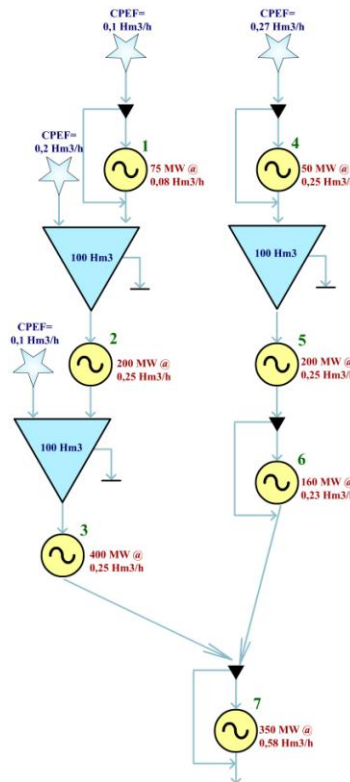


Figura 3. Parque de generación eléctrica en cadena hidráulica.  
Imagen: El Autor.

Ahora, al sistema anterior de la Figura 3 vamos a adicionarle dos generadores térmicos, como se observa en la Figura 6.

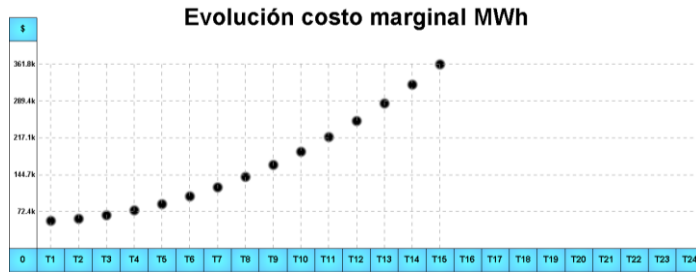


Figura 4. Evolución costo marginal del caso de la Figura 3 de sequía completa. Imagen: El Autor.

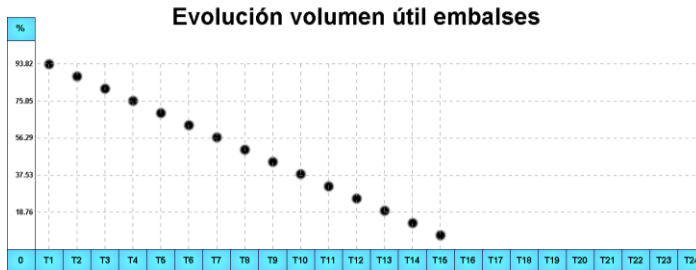


Figura 5. Evolución volumen útil de los embalses del caso de la Figura 3 de sequía completa. Imagen: El Autor.

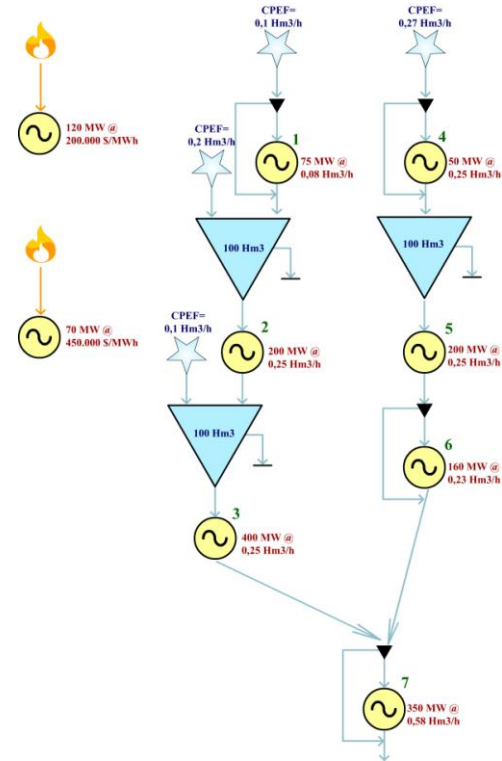


Figura 6. Parque de generación eléctrica en cadena hidráulica con sistema térmico. Imagen: El Autor.



Desarrollando el mismo experimento de sequía extrema como se planteó inicialmente en la Figura 3, la aplicación nos indica que en aproximadamente 57 días el sistema puede entrar en racionamiento, o sea en el período 19. Las Figuras 7 y 8 muestran la evolución histórica del costo marginal y del volumen de los embalses, respectivamente (cada período equivale a 3 días).

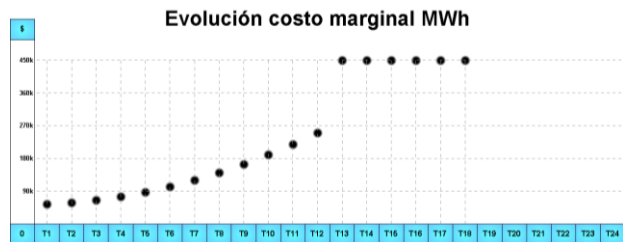


Figura 7. Evolución costo marginal del caso de la Figura 6 de sequía completa. Imagen: El Autor.

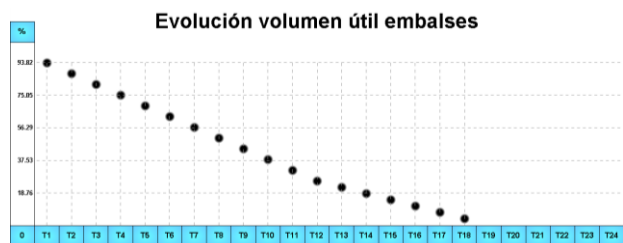


Figura 8. Evolución volumen útil de los embalses del caso de la Figura 6 de sequía completa. Imagen: El Autor.

En la Figura 7 se puede notar como a partir del período 13, o sea, a los 39 días, el sistema ve la necesidad económica de arrancar a trabajar las plantas térmicas, como se ve indicado en su costo marginal de 450.000 \$/MWh. El costo marginal es constante ya que ninguna de las plantas hidráulicas supera el costo de venta unitario de energía que ofrece la planta térmica en la medida que se desocupan.

Finalmente, al sistema de la Figura 6 vamos a agregarle un generador solar y eólico, como se ve en la Figura 9, y realizaremos de nuevo el mismo experimento.

La aplicación nos indica que se requieren 20 períodos para entrar en racionamiento, o sea 60 días. La inclusión de estos sistemas de generación alternativa ha permitido retrasar el tiempo para entrar en racionamiento el sistema. Incluso, demoró un período más, o sea 3 días más para entrar a trabajar las plantas térmicas, como se puede observar en la curva del costo marginal de la Figura 10 si se compara con la Figura 7.

La curva de evolución del volumen útil de los embalses se puede ver en la Figura 11, donde se puede observar, si se compara detalladamente con la Figura 8, que en este caso se demoró más los embalses en desocuparse.

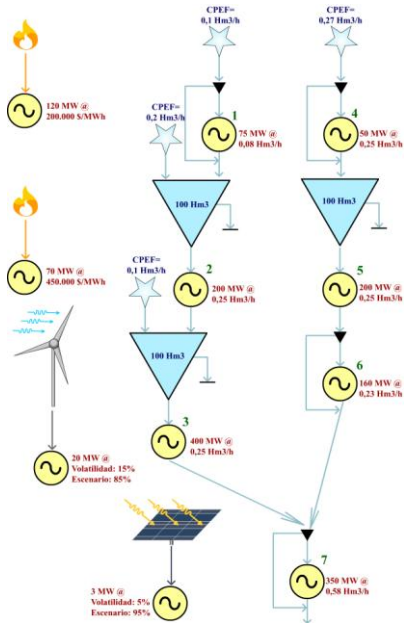


Figura 9. Parque de generación eléctrica en cadena hidráulica con sistema térmico y plantas alternativas. Imagen: El Autor.

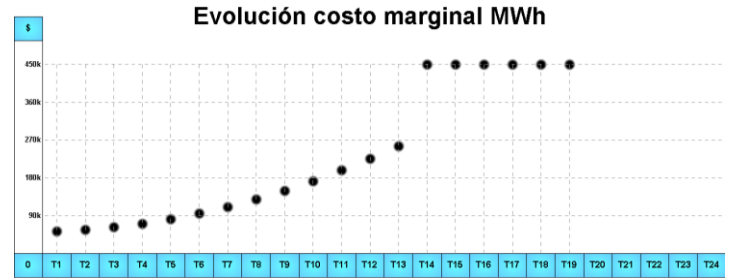


Figura 10. Evolución costo marginal del caso de la Figura 9 de sequía completa. Imagen: El Autor.

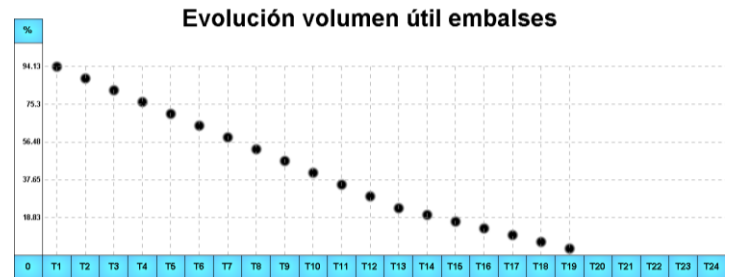


Figura 11. Evolución volumen útil de los embalses del caso de la Figura 9 de sequía completa. Imagen: El Autor.

## 5. CONCLUSIONES

La solución al problema del despacho económico y la distribución óptima de cargas jamás será resuelta absolutamente por los programas informáticos, ya que las decisiones que se toman en la operación de los sistemas de potencia deben antes que nada pasar por los criterios de los consejos de operación y despacho respectivos, los cuales son coordinados por humanos. Las herramientas informáticas desarrolladas en este proyecto nos ofrecen un pequeño vistazo a la realidad que nos puede servir para ser más críticos a la hora de tomar decisiones, mejorar nuestros criterios respecto a una consciencia situacional responsable, y actuar con seguridad ante contingencias en tiempo real.

La herramienta informática # 1 hace un esfuerzo para ayudar a entender una aproximación a cómo se logra realizar un despacho ideal a partir de la bodega de datos que suministran los agentes generadores y comercializadores respecto a la oferta y la demanda de energía, aplicando el método (un tanto limitado) de los Multiplicadores de Lagrange. La herramienta nos ayuda además a visualizar cómo la ausencia de un generador en específico o la desconexión de una demanda cambia la distribución de la carga entre los oferentes y puede cambiar el costo marginal del despacho, identificando así para que casos este aumenta o este disminuye.

La herramienta informática # 2 nos ayuda a entender cómo se comportaría el costo marginal y el costo total del despacho

cuando un sistema (además de ser un oligopolio) es muy térmico o muy hidráulico, ante el escenario de que los combustibles fósiles son ilimitados (pero pueden variar su costo) y el recurso hídrico se puede agotar en el mediano y largo plazo. Nos ayuda a entender además cómo el ingreso de un generador alternativo pequeño (como el eólico o solar) en el mediano y largo plazo puede llegar a ser decisivo en el momento de retrasar la amenaza de un racionamiento, abaratar el costo marginal y el costo total del despacho, disminuir la generación térmica, optimizar el uso de las fuentes energéticas hidráulicas, y hacer que el sistema sea más confiable y sostenible. El problema de abaratar el costo marginal implica que los agentes generadores que tienen precios de oferta inferiores a este, reciban menos utilidades, ya que a todos los participantes de la Bolsa de Energía se les paga al costo marginal sus disponibilidades energéticas

## AGRADECIMIENTO

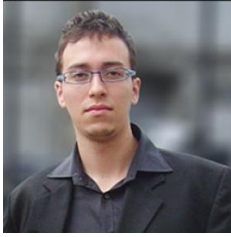
Los autores agradecen al Grupo de Investigación de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica de la Universidad Pontificia Bolivariana por la asesoría y sugerencias compartidas en la gestión de este proyecto.

## REFERENCIAS

Agudelo Vélez, Camilo Andrés; Martínez Sánchez, Lina María; y Ortíz Trujillo, Isabel Cristina (2012). Gestión del

- Conocimiento: Un Activo Intangible a través de la Investigación. Revista Praxis No. 8 2012. ISSN: 1657-4915. Págs. 156 – 161. Santa Marta, Colombia. 2012.
- Amador Araujo, William Eduardo (2007). Modelo de Simulación del Mercado Spot de Energía Eléctrica en Colombia. Maestría en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica. Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia. 2007.
- Botero Uribe, Beatriz; Moreno Del Valle, Carlos Alberto; Ramírez Arcila, José Ignacio; y Villa Aguirre, Germán (1989). Programación Lineal Aplicada a la Coordinación Hidrotérmica. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Medellín, Colombia. 1989.
- Burgos López, Miguel Ángel (2010). Desarrollo de una Aplicación en Matlab para la programación del despacho económico hidrotérmico en condiciones normales. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia. 2010.
- CREG - Comisión de Regulación de Energía y Gas (1995). Resolución 24 de 1995 – “Reglas del Mercado Mayorista del SIN”. Bogotá, Colombia. <<http://www.creg.gov.co>> [Consultado en julio de 2013].
- Corredor A., Pablo Hernán (1992). Operación Económica de Sistemas de Potencia. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Serie NABLA – DELTA No. 23. Medellín. 1992.
- Grainger, John J.; Stevenson Jr., William D. (1996). Análisis de Sistemas de Potencia. McGraw-Hill. México. 1996.
- Kirschen, Daniel; y Goran, Strbac (2004). Fundamentals of Power System Economics. University of Manchester Institute of Science & Technology (UMIST). United Kingdom. John Wiley & Sons, Ltd. 2004.
- Saadat, Hadi (1999). Power System Analysis. Milwaukee School of Engineering. McGraw-Hill International Editions. 1999.
- Wood, Allen J.; y Wollenberg, Bruce F. (1996). Power Generation, Operation and Control. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc.. New York, NY, USA. 1996.
- XM – Gestión de Sistemas de Tiempo Real (2013). Descripción del Sistema Eléctrico Colombiano. <<http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistemaElectricoColombiano.aspx>> [Consultado en julio de 2013]
- XM – Gestión de Sistemas de Tiempo Real (2013). Despacho Diario <<http://www.xm.com.co/Pages/DespachoDiario.aspx>> [Consultado en julio de 2013]

## AUTORES



*Sebastián Morales Gómez* es estudiante de último semestre de Ingeniería Eléctrica, con énfasis en desarrollo de software y sistemas de información, de la Universidad Pontificia Bolivariana de la ciudad de Medellín, Colombia. Actualmente se encuentra desarrollando su práctica profesional en la compañía

Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. – ISA desde el 15 de julio de 2013, como asistente en la dirección de mantenimiento del Centro de Transporte de Energía (CTE) Noroccidente. Desde hace 6 años ha sido jefe de redacción y corrector de estilo para una compañía editora que se ha dedicado a elaborar revistas especializadas sobre proyectos del Ministerio de Minas y Energía y del Ministerio de Transporte de la República de Colombia. Ha liderado proyectos de promoción de marketing digital con PYMES de la ciudad de Medellín, desarrollando juegos para internet. Ha participado con el proyecto de investigación “Juego Serio para enseñar a sincronizar un generador sincrónico a un sistema de potencia” en diversas ponencias académicas a nivel regional y nacional, representando al semillero de investigación Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica de la UPB, obteniendo calificaciones sobresalientes y una Mención de Honor por parte de la Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos. Fue invitado por la Sociedad Colombiana de Ingenieros para participar con un artículo en la revista “Anales de Ingeniería” que se titula “La

nueva generación de ingenieros se formará con videojuegos”. En el año 2013 fue elegido por la comunidad académica de la Facultad de Ingeniería Eléctrica como Estudiante Distinguido. Sus intereses se centran en desarrollar aplicaciones informáticas donde se pueda entrenar personal en operaciones de alto riesgo para el sector eléctrico.

*Hugo Alberto Cardona Restrepo.* Ingeniero Electricista y Magíster en Ingeniería Área Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín. Actualmente es el director de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana. Es miembro activo del Grupo de Investigación Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica (TyD).