

ESTUDIO Y SIMULACIÓN DEL DESPACHO ECONÓMICO CON DIVERSAS FUENTES DE GENERACIÓN MEDIANTE HERRAMIENTAS EN LÍNEA

Sebastián Morales^{**}, Hugo A. Cardona^{*}, Jorge W. González A^{*}, Idi A. Isaac A^{*}, Gabriel J. López^{*}

^{*}Universidad Pontificia Bolivariana, Cir. 1 #70-01, Bloque 11, Medellín, Colombia.

Recibido 08 Agosto 2013; aceptado 04 Diciembre 2013

Disponible en línea: 19 Diciembre 2013

Resumen: Se presenta el desarrollo de dos herramientas informáticas didácticas con acceso libre desde la web. Éstas permiten a los usuarios desarrollar estudios económicos sobre la administración de 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.

Palabras clave: Despacho Económico, Sistema Hidrotérmico, Mercado Mayorista, Oferta y Demanda

STUDY AND SIMULATION OF THE ECONOMIC DISPATCH WITH DIFFERENT GENERATION SOURCES USING ONLINE TOOLS

Abstract: The development of two didactic computing tools with free access from the web is presented. The tools allow users to develop economic studies about electrical markets administration, based on hydrothermal systems generation including renewables (solar and wind); starting from the basic principles that model the economic dispatch of a spot market or short term market.

Keywords: Economic Dispatch, Hydrothermal System, Wholesale Market, Supply and Demand

1. INTRODUCCIÓN

A nivel global, la población humana no detiene su crecimiento, 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 tornan más complejos debido al

aumento de carga asociada a la demanda doméstica, comercial e industrial.

La volatilidad de los precios de los *commodities* (productos) 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

[†] Autor al que se le dirige la correspondencia:

Tel. (+57 3) 300 707 11 61 ext N/A, fax N/A.

E-mail: smorales@colombiaelectrica.com (Sebastián Morales).

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. De esta forma será posible experimentar sin afectar los sistemas reales, adelantarse en el tiempo a posibles situaciones críticas y así afianzarse en la argumentación clara para tomar decisiones acertadas a 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 sobre 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 novedad es la ejecución de estas aplicaciones con propuestas de mecanismos basados en teoría de juegos, donde los usuarios pueden simular distintos eventos y visualizar qué podría suceder 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 éste 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 es posible acercarse al concepto de investigación formativa como un activo intangible capaz de resolver nuevos retos y romper paradigmas. Las organizaciones aprenden haciendo y lo validan 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 et al., 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 entrega 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 14361 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 según la descripción del Sistema Interconectado Nacional (SIN) en XM ([2012a](#)).

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. Esto se puede obtener 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 *et al.*, 1989).

Las aplicaciones que se explicarán a continuación pueden ser ejecutadas temporalmente desde el sitio web privado:

www.colombiaelectrica.com/app_dec.

4.1. Herramienta No. 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 libremente por cualquier ciudadano. Estos datos están guardados en

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

Con base en 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-costos (curva de costos incrementales) de cada planta eléctrica es interpretada como lineal rectilínea. De otro lado, 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 ayudar 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. 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 Fig. 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.

En la Fig. 1 se hace especial énfasis en el costo marginal de las 20:00 horas, el cual fue de 51232.32 \$/MWh, y la demanda de 9604 MWh. Se desea enfatizar en el comportamiento de la planta Chivor en ese período, el cual tuvo una disponibilidad de 875 MWh a un precio de 110000 \$/MWh, donde en este primer caso el software sugiere que esta planta despache 815.1 MWh.

Ahora se va 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 110000 \$/MWh. Ejecutando la aplicación con este cambio específico, en la [Fig. 2](#) se encuentra que el costo marginal en ese mismo período será de 54248.39 \$/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 [Fig. 2](#) muestra el costo marginal en los 24 períodos, señalando el costo marginal de la hora 20.

En la [Tabla 1](#) se puede observar organizadamente una serie de análisis a partir de los casos previamente vistos y nuevos que sirven 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 cuánta energía debe suministrar cada central puede ser descargado de la aplicación en formato XML, el

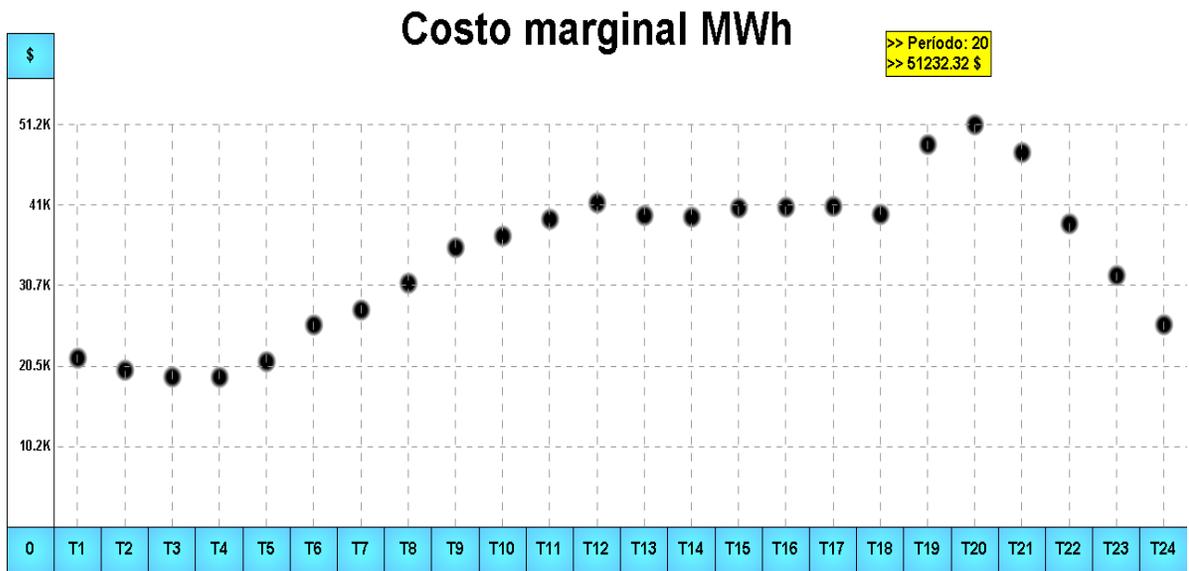


Fig. 1. Comportamiento costo marginal las 24 horas del miércoles 22 de mayo de 2013. Tomada de Morales (2013).

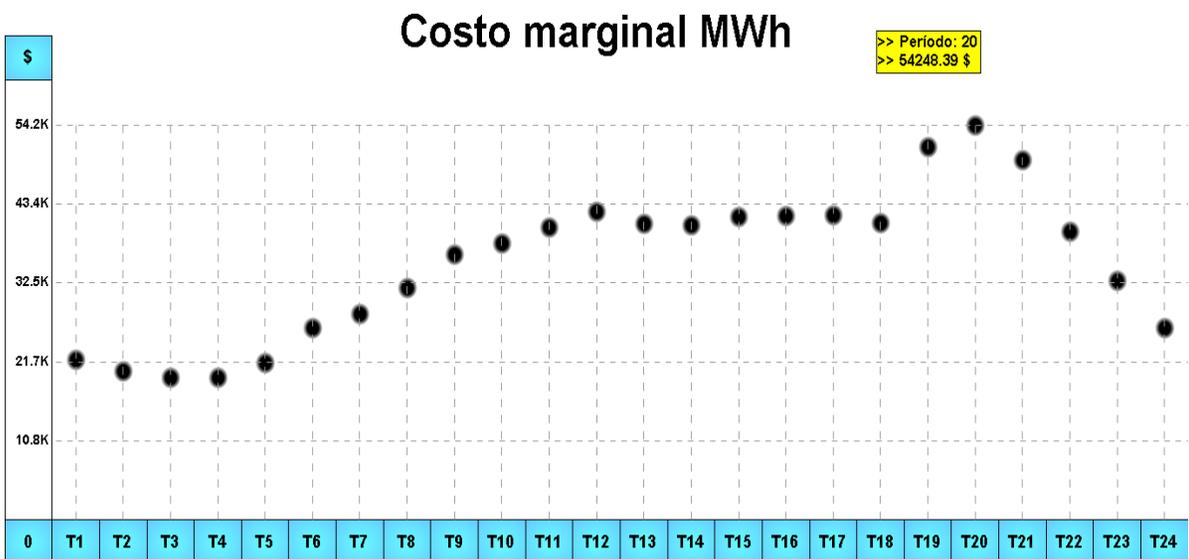


Fig. 2. Comportamiento costo marginal las 24 horas del miércoles 22 de mayo de 2013 con indisponibilidad de 175 MWh de la central Chivor a las 20:00 horas. Tomada de Morales (2013).

cual puede ser utilizado en cualquier programa de hojas de cálculo.

Tabla 1. Casos de estudio en la herramienta informática No. 1

Caso	Costo marginal (CM) [\$/MWh]	Relación CM caso respecto a CM valor normal
Demanda (Dem): 9604 MWh Oferta (Ofe): Sin edición de datos (valor original)	51232.32	1
Dem: 9604 MWh Ofe: Chivor 700 MWh @ 110000 \$/MWh	54248.39	1.0588
Dem: 9400 MWh Ofe: Sin edición de datos	48216.17	0.9411
Dem: 9604 MWh Ofe: Chivor 700 MWh @ 135000 \$/MWh	54012.85	1.0542
Dem: 9700 MWh Ofe: Sin edición de datos	52909.77	1.0327
Dem: 9604 MWh Ofe: Chivor sin disponibilidad, es decir, 0 MWh	70957.67	1.3850

4.2. Herramienta No. 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 ésta 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 éstas puede provenir de una o varias plantas aguas arriba o de un afluente natural.

En la Fig. 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 1435 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 indica que, si se realizan 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.

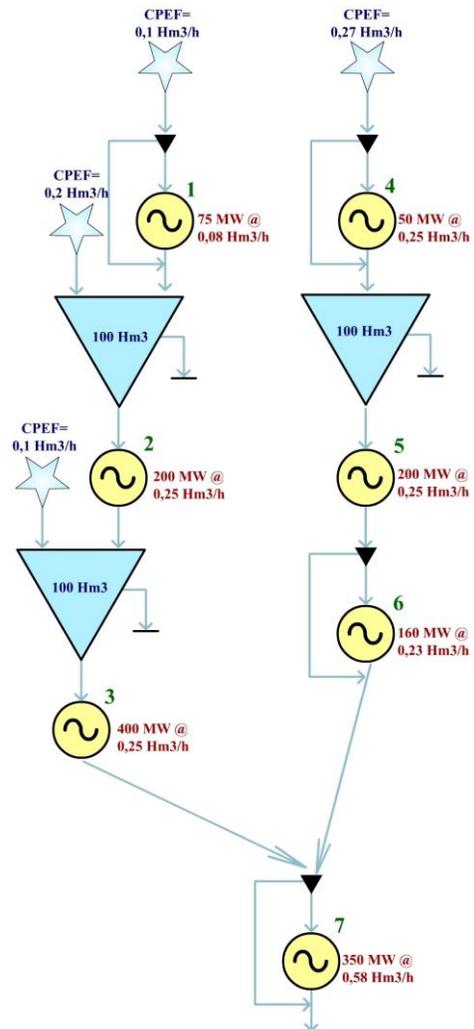


Fig. 3. Parque de generación eléctrica en cadena hidráulica. Tomada de Morales (2013).

En la [Fig. 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 [Fig. 5](#) muestra cómo evoluciona el porcentaje de ocupación de agua en general de los tres embalses.



Fig. 4. Evolución costo marginal del caso de la [Fig. 3](#) de sequía completa. Tomada de Morales (2013).

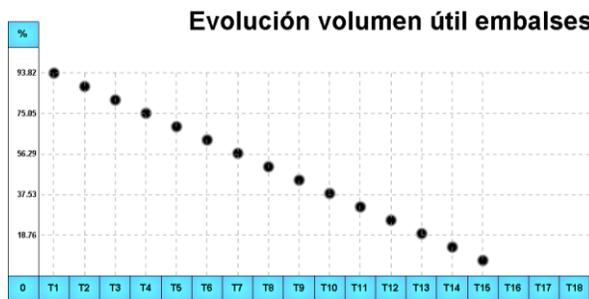


Fig. 5. Evolución volumen útil de los embalses del caso de la [Fig. 3](#) de sequía completa. Tomada de Morales (2013).

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

Ahora, al sistema anterior de la [Fig. 3](#) se le adicionarán dos generadores térmicos, como se observa en la [Fig. 6](#).

Desarrollando el mismo experimento de sequía extrema como se planteó inicialmente en la [Fig. 3](#), la aplicación indica que en aproximadamente 57 días el sistema puede entrar en racionamiento, es decir, en el período 19. La [Fig. 7](#) y la [Fig. 8](#) muestran la evolución histórica del costo marginal y del volumen de los embalses respectivamente (cada período equivale a 3 días).

En la [Fig. 7](#) se puede notar cómo a partir del período 13, o sea, a los 39 días, el sistema ve la necesidad económica de arrancar a trabajar las plantas térmicas tal 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.

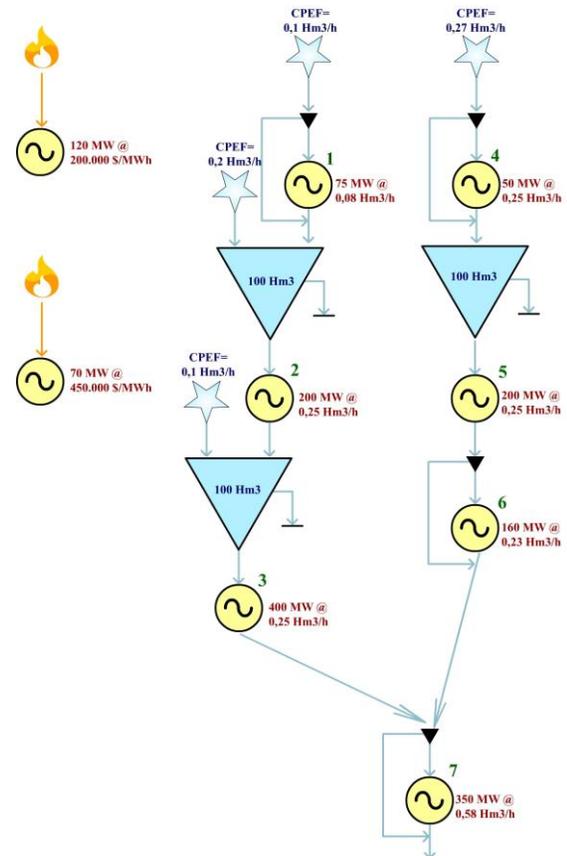


Fig. 6. Parque de generación eléctrica en cadena hidráulica con sistema térmico. Tomada de Morales (2013).



Fig. 7. Evolución costo marginal del caso de la [Fig. 6](#) de sequía completa. Tomada de Morales (2013).

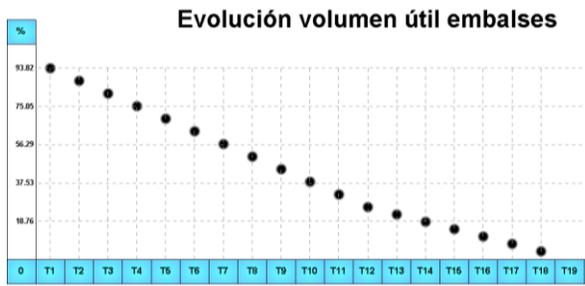


Fig. 8. Evolución volumen útil de los embalses del caso de la Fig. 6 de sequía completa. Tomada de Morales (2013).



Fig. 10. Evolución costo marginal del caso de la Fig. 9 de sequía completa. Tomada de Morales et al. (2013).

Finalmente, al sistema de la Fig. 6 se le agregará un generador solar y eólico, como se ve en la Fig. 9, y se realizará de nuevo el mismo experimento.

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

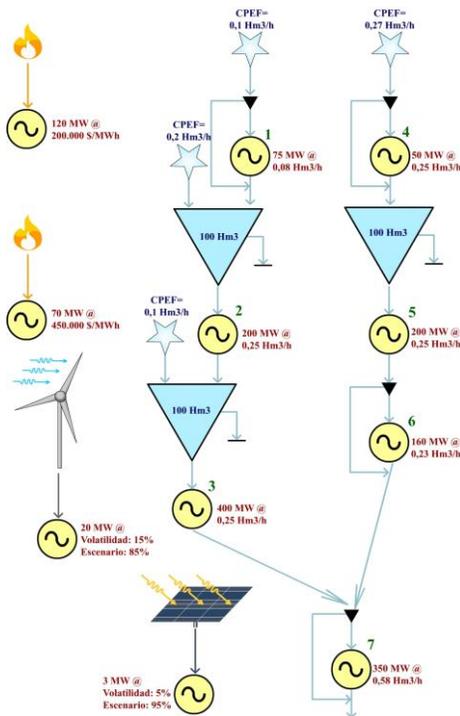


Fig. 9. Parque de generación eléctrica en cadena hidráulica con sistema térmico y plantas alternativas. Tomada de Morales et al. (2013).

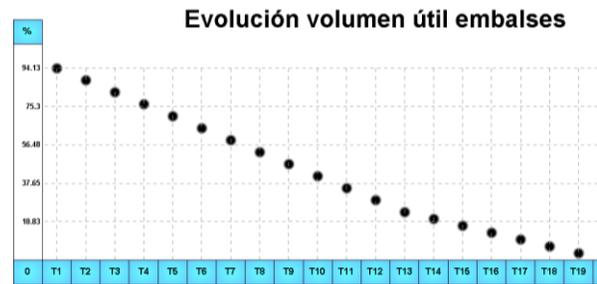


Fig. 11. Evolución volumen útil de los embalses del caso de la Fig. 9 de sequía completa. Tomada de Morales et al. (2013).

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 ofrecen un pequeño vistazo a la realidad que puede servir para ser más críticos a la hora de tomar decisiones, mejorar los criterios respecto a una consciencia situacional responsable, y actuar con seguridad ante contingencias en tiempo real.

La aplicación indica que se requieren 20 períodos para entrar en racionamiento, es decir, 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 Fig. 10 si se compara con la Fig. 7.

La herramienta informática No. 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 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 qué casos éste aumenta o disminuye.

La herramienta informática No. 2 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. 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 éste, 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, C.A., L.M. Martínez, e I.C. Ortíz (2012). Gestión del Conocimiento: Un Activo Intangible a través de la Investigación. *Revista Praxis* 8: 156 – 161. ISSN: 1657-4915.

Amador Araujo, William Eduardo (2007). *Modelo de Simulación del Mercado Spot de Energía Eléctrica en Colombia*. Tesis Maestría en Transmisión y Distribución de Energía

Eléctrica. Colombia, Universidad Pontificia Bolivariana Medellín.

Botero, B., C.A. Moreno, J.I. Ramírez y G. Villa (1989). *Programación Lineal Aplicada a la Coordinación Hidrotérmica*. Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia.

Burgos, M.A., (2010). *Desarrollo de una Aplicación en Matlab para la programación del despacho económico hidrotérmico en condiciones normales*. Tesis de Ingeniería Eléctrica. Colombia, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Pontificia Bolivariana Medellín.

Corredor, P.H. (1992). *Operación Económica de Sistemas de Potencia*. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Serie NABLA – DELTA No. 23. Medellín.

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 2013-07-15.

Grainger, J.J., W.D. Stevenson Jr., (1994). *Análisis de Sistemas de Potencia*. McGraw-Hill. México.

H. Saadat (1999). *Power System Analysis*. McGraw-Hill International Editions. USA.

Kirschen, D. y G. Strbac (2004). *Fundamentals of Power System Economics*. University of Manchester Institute of Science & Technology (UMIST). United Kingdom. John Wiley & Sons, Ltd.

Morales, S., H.A. Cardona (2013). *Herramientas Informáticas para Estudiar y Simular Despachos Económicos con Diversas Fuentes de Generación*. Tesis de Ingeniería Eléctrica. Colombia, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Pontificia Bolivariana Medellín.

Wood, A.J. y B. F. Wollenberg (1996). *Power Generation, Operation and Control*. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc.. New York, NY, USA.

XM – Gestión de Sistemas de Tiempo Real (2013). *Descripción del Sistema Eléctrico Colombiano*. [<http://www.xm.com.co/Pages/DescripciondelSistemaElectricoColombiano.aspx>] consultado en 2013-07-10.

XM – Gestión de Sistemas de Tiempo Real (2013). *Despacho Diario* [<http://www.xm.com.co/Pages/DespachoDiario.aspx>] consultado en 2013-07-10.

SOBRE LOS AUTORES

Sebastián Morales Gómez

Ingeniero Electricista de la Universidad Pontificia Bolivariana de la ciudad de Medellín, Colombia. Ha desarrollado su práctica profesional en la compañía Interconexión Eléctrica S.A. E.S.P. – ISA, con el Grupo Ejecutor de Mantenimiento de Subestaciones del Centro de Transporte de Energía (CTE) Noroccidente. En la ejecución del pregrado, desarrolló el proyecto de investigación “Juego Serio para enseñar a sincronizar un generador 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 en la revista “Anales de Ingeniería” con un artículo titulado “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 técnico y administrativo en actividades donde se evidencien situaciones de alto riesgo para el sector eléctrico y la sociedad.

Hugo Alberto Cardona

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. Realizó estancia investigativa en XM S.A. E.S.P. Es miembro activo del Grupo de Investigación Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica (TyD).

Jorge Wilson González

Ingeniero Electricista de la Univ. Nacional y MSc - PhD. de la Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia, donde es Profesor Titular de tiempo completo e Investigador. Laboró en HVM Ingenieros y en Siemens, Erlangen en PTD (FACTS y HVDC). Investigador invitado en la Univ. Kempten, Alemania y en el Power Systems Institute en Erlangen Univ. Alemania en el 2005.

Idi A. Isaac

Ingeniero Electricista, MSc.y PhD. de la UPB, Colombia, donde es Profesor Titular de tiempo completo e Investigador en la Facultad de IEE. Realizó estancia investigativa en Interconexión Eléctrica S.A. Investigador invitado en la Univ. Kempten, Alemania y Univ. Comillas, España.

Gabriel López

Ingeniero Electricista, MSc.y estudiante PhD. de la UPB, Colombia, donde es Profesor Asociado de tiempo completo e Investigador en la Facultad de IEE. Laboró en la empresa Unión Eléctrica. Realizó estancia investigativa en XM S.A. E.S.P. Investigador invitado en la Univ. Kempten, Alemania.