

# APAGONES: INGENIERÍA Y ECONOMÍA DESACOPLADAS

## INTRODUCCIÓN

*“Lograr las mayores economías posibles en el suministro de electricidad y de resultas ahorros para los consumidores, es un fin loable. Pero no se debe llevar a cabo en detrimento de la integridad fundamental del suministro masivo de electricidad. Nuestra Sociedad pasó el trauma del Apagón de Nueva York para aprender esta lección. Es menester guardarse de la mala experiencia de tener que aprenderlo de nuevo”*,

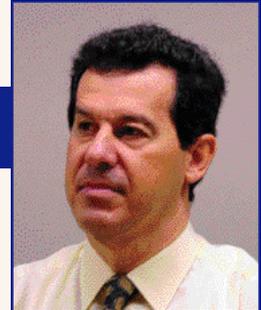
Así rezaba el último párrafo del famoso artículo de Gregory Vassell, vicepresidente senior jubilado de la AEP, que escribió con motivo del 25 aniversario del Apagón de Nueva York del 65, y que se ha convertido en una referencia obligada del mismo (1). Leer en su totalidad hoy este artículo impresiona porque es una estupeficiente descripción de lo mismo que estamos leyendo estos días y, al terminar de leerlo, la primera conclusión que se saca es que ciertamente el hombre es el único animal que tropieza dos veces en la misma piedra.

Recordemos:

- 14 de agosto de 2003, 16:11 h. – Colapso del sistema norteamericano de la región de los Grandes Lagos.
- 28 de agosto de 2003, 18:30 h. – Interrupción masiva de suministro al sur de Londres.
- 23 de septiembre de 2003, 12:27 h. – Colapso del sistema sueco que arrastra al del este insular de Dinamarca.
- 28 de septiembre de 2003, 3:30 h. – Colapso del sistema italiano.

En tan sólo mes y medio, decenas de millones de habitantes del siglo XXI han experimentado su dependencia de la electricidad cada vez que algo tan prosaico como la rama de un árbol que tocaba en una línea eléctrica impedía que continuara fluyendo esa sangre de la Civilización actual, que es la Electricidad (2). No sólo es-

Jesús María Martín Giraldo  
Dr. Ing. Industrial



*“En España, como en casi todos los países del mundo, las gentes de cada carrera desprecian a las de las otras. Búrlase el soldado del escolástico oyéndole disputar utrum blicteri terminus logicus. Búrlase éste del químico, empeñado en el hallazgo de la piedra filosofal. Éste ríe del soldado que trabaja mucho sobre que la vuelta de la casaca tenga tres pulgadas de ancho y no tres y media. ¿Qué hemos de inferir de todo esto? Que en todas las facultades humanas hay cosas ridículas”*.

(“*Cartas Marruecas*”. Carta XV. **José Cadalso**)

to. Desde 1998, se puede constatar un incremento de las crisis eléctricas y “ceros” de tensión masivos, destacando las crisis eléctricas de Chile (1998-99), la del estado australiano de Victoria (febrero 2000), las dos crisis de California (verano del 2000 y febrero de 2001), las crisis de Brasil (verano de 2001), y la de Noruega (invierno de 2002); los apagones de Auckland (febrero de 1998), Buenos Aires (febrero 1999), todo el Brasil (marzo de 1999), Madrid (julio 1999), Kyoto (octubre 1999), Tokio (noviembre 1999), mitad sur de Portugal (mayo 2000), Mallorca (junio 2000), 70% de Venezuela (agosto 2000), todo Puerto Rico (septiembre 2000), Barcelona (diciembre 2001); cortes en los aeropuertos de Sydney (1 de agosto de 2000 antes de los Juegos Olímpicos), Houston (septiembre 2000) y Palma de Mallorca (octubre 2000). Hay que mencionar también los temporales de Francia en diciembre de 1999 y, aunque de otra índole,

la crisis originada en el sector de la energía a escala mundial por la quiebra fraudulenta de Enron entre octubre y noviembre de 2001.

También es importante recordar, en relación con el tema que nos ocupa, la publicación en marzo de 2000, por el Ministerio de Energía de los Estados Unidos (US DoE), del Informe final del POST (*Power Outage Study Team*), Grupo de trabajo creado para analizar y buscar soluciones al incremento y extensión de los cortes de suministro en los EE.UU. en los últimos años. El informe contemplaba 12 recomendaciones y con cada una de ellas proponía una o más actuaciones de carácter federal (al nivel de todos los EE.UU.) cuya lectura es muy recomendable pues constituyen un buen resumen de las medidas de las que ahora se está hablando (3).

## UN POCO DE HISTORIA

Sin embargo, hubo tiempos más “apacibles” en el sector. Por ejemplo,

en el primero de los cuatro tomos de la obra de René Pélissier (4) podemos leer: *"Dejando a un lado los cortes que, alrededor de cada dos años afectan en los Estados Unidos a zonas reducidas y poco densas en el momento del paso de tornados, las redes de transporte no son nunca asienta de averías tan grandes. En Francia, por ejemplo, la última avería de una hora en la red de transporte se remonta a 1958"*.

Si no hubiera sido por el Apagón de Nueva York, 1965 habría sido un año magnífico para la industria eléctrica americana que se encontraba en el cenit de su desarrollo económico, batiendo el récord de producción de electricidad a precios unitarios cada vez más bajos, y Wall Street se complacía con las cotizaciones de las eléctricas a alturas jamás vistas desde el fin de la depresión del 29. Pero el apagón de 1965, y más tarde el de 1977, abrieron una época de profundos cambios históricos en el sector eléctrico. Los apagones fueron únicos en el sentido de que suspendieron el correr del tiempo durante unos días y permitieron que la Sociedad pudiera mirarse a sí misma (5).

Entre las principales recomendaciones de la Comisión Federal de Potencia (hoy FERC) estuvieron entonces: necesidad de una autoridad única sobre la red de interconexión, estudio común de la seguridad de la red, impulsar el desarrollo de los automatismos, reforzar las interconexiones, reparto homogéneo de la reserva rodante, intensificar el mantenimiento y supervisión de todos los relés y automatismos, diseñar esquemas de desastres eventuales, equipar con generación de emergencia a clientes que no se puede cortar, y modernizar la legislación haciendo reportar el plan de control de seguridad de las redes de cada Estado al Plan Federal.

En definitiva, el apagón de Nueva York supuso la adopción de dos grandes decisiones de las instancias de mando y control imperantes entonces:

1. La creación del NERC (Consejo Nacional de Fiabilidad Eléctrica)
2. La transformación de los esquemas y prácticas de control y operación de los sistemas de potencia



basándose en la aplicación intensiva de la informática emergente entonces.

Con el tiempo, los sistemas eléctricos se convertirían en la infraestructura industrial controlada automáticamente a gran escala más fiable jamás creada por el hombre. No debemos olvidar que acopla nucleares.

Han pasado 25 años desde que se publicara el primer trabajo que establecía las bases conceptuales de la reforma de la industria eléctrica que hoy estamos sufriendo (6). Estos trabajos pioneros de Schweppe y otros (7) vislumbraban la posibilidad de introducir la competencia en generación a partir de precios "spot" y una estructura de mercado, "energy marketplace" la denominaban, como la manera más eficiente de funciona-

miento del sistema eléctrico. La mayor contribución de estos trabajos fue concebir las condiciones de mercado entre oferta y demanda para mejorar la aplicación de la teoría del coste marginal que era entonces aplicada mediante los algoritmos del Despacho Económico. Básicamente se trataba de cuestionar el mecanismo de operación del sistema eléctrico según el cual "la oferta seguía a la demanda", que giraba en torno a un sistema de precios que no lograba incentivar una respuesta adecuada por parte de los consumidores.

El paradigma del sistema eléctrico antes de estas teorías era el de empresas verticalmente integradas que abastecían la demanda en régimen de monopolio natural<sup>(1)</sup> con sus grupos generadores acoplados a sus redes de transporte y distribución. La idea de desarrollar un mercado formado por empresas de generación, transporte, distribución y comercialización distintas no tardó en madurar. Aunque se menciona a Chile como el primero en implementar los conceptos básicos de esta reforma, no hay que olvidar que España fue el primer país en tener un Operador de Red Independiente. Más tarde, en 1988, Margaret Thatcher publicaría su Libro Blanco "Privatizing Electricity" que conduciría a la reforma del sector eléctrico de Inglaterra y Gales. Surge de este modo el concepto de "Mercado eléctrico"<sup>(2)</sup>, que responde a la idea de crear las condiciones de mercado en la actividad eléctrica.

El suministro de electricidad pasaba súbitamente de ser servicio público (concepto que en España se debatió durante más de un cuarto de siglo hasta su publicación en 1925), a ser servicio esencial. Las empresas antes integradas verticalmente se separaron contable y legalmente en diferentes empresas atendiendo a su función de negocio: generación, dis-

<sup>1</sup> Monopolio natural no es un concepto pernicioso *per se*, significa simplemente que los costes en una industria, como en casi todas las de red, son subaditivos, lo que en términos vulgares para entendernos, significa que es más barato que el servicio en un territorio lo preste una sola empresa, ya que duplicar las redes sería antieconómico.

<sup>2</sup> Entre los argumentos económicos de la reforma estaba que las tecnologías de generación de electricidad convencionales habían agotado sus economías de escala, y las nuevas tecnologías de generación de gas permitían introducir la competencia en la fase de generación. Este hecho, junto a las críticas de que los precios de la electricidad no reflejaban adecuadamente los costes, que existían subsidios cruzados entre diferentes tipos de clientes, y otro tipo de argumentos, como, por ejemplo, la tesis de Averch-Johnson, según la cual las empresas reguladas al coste del servicio tienen mayor tendencia a invertir en capital que en mano de obra, y que por cierto se acabó interpretando falazmente como el "goldplating", esto es, que las eléctricas realizaban inversiones "chapadas en oro" a costes pagados, condujeron a la reforma para que al cabo de un período de transición de varios años los precios de la electricidad quedaran fijados mediante el libre juego de la oferta y la demanda.

tribución y comercial, y se las empezó a denominar "empresas gestoras del servicio", quizá para acentuar la nueva preeminencia de lo económico-administrativo sobre lo técnico-industrial. Se crearon los operadores de la red de transporte para garantizar el libre acceso a las redes por todos los participantes en el mercado, los operadores de mercado, y las Comisiones reguladoras para las funciones que aún continuaban siendo monopolio natural, a saber: transporte y distribución. Se abandonaba la época del monopolio natural y de fijación de las tarifas al coste del servicio que había venido funcionando correctamente<sup>(3)</sup>, y que históricamente, al reducir los costes de capital, había facilitado el desarrollo del sector eléctrico a lo largo del siglo XX, con el incalculable beneficio que ello supuso para la Sociedad, y se entraba en la era de un mercado competitivo creado artificialmente. Esto es, se cambiaba el monopolio natural por un mercado artificial cuyo laboratorio de ensayos iba a ser el mundo real, a sabiendas de que los mercados son imperfectos por naturaleza, y sin que aspectos que ahora emergen como, por ejemplo, los intergeneracionales (¿cuál va a ser el sistema de potencia que vamos a dejar a las generaciones futuras<sup>(4)?</sup>), o el de los costes de las transacciones (¿cuáles van a ser los costes de aquellas transacciones que antes se realizaban en el seno de la eléctrica verticalmente integrada y que ahora se contratan en el mercado<sup>(5)?</sup>), se trataron insuficientemente.

### LA CUESTIÓN

¿Qué que puede estar ocurriendo para que con estos apagones tengamos la sensación de retroceder repentinamente casi 40 años hasta

cuando en 1965 se produjo el primer Apagón de Nueva York?

Si para introducir el asunto hemos utilizado el último párrafo del artículo de Vassell, para enmarcar una respuesta a la cuestión capital que nos ocupa puede ser muy ilustrativo traer ahora el primer párrafo del artículo que Bergara y Spiller, profesores de Economía de la Universidad de California en Berkeley, escribieron en 1997 sobre las supuestas bondades del acceso directo en Nueva Zelanda, en el que leemos: *"Los mercados eléctricos se están transformando radicalmente en todo el mundo... Estas transformaciones se han asumido en contra de las creencias firmemente arraigadas sobre seguridad, estabilidad, economías de escala, y demás, que fueron las divisas del enfoque de Ingeniería para la concepción del sector eléctrico. En lugar de eso, ahora, las divisas son mercados, contratos a plazo, operadores del mercado, operadores de red, y recientemente el acceso directo"*.

Ni Bergara ni Spiller podían sospechar que tan sólo unos meses después de escribir lo anterior, en febrero de 1998, iba a ocurrir en Auckland (9), la interrupción del servicio proporcionalmente más brutal de cuantas se han producido hasta ahora en el mundo desarrollado, apagones de Nueva York incluidos. Seguro que tampoco sospecharon las crisis energéticas que se cernían sobre California, con sus rondas de apagones programados, debidas al ahora ya más que probado "gaming" salvaje que Enron, El Paso, Reliant y otras empresas tejanas hicieron al sistema californiano, las cuales han sido condenadas a devolver al estado de Califor-

nia 3.300 millones de dólares. Y quizá nunca llegaron a pensar que el acceso directo iba a ser tan completo fracaso en California, que muchos estén ahora por la re-regulación.

En definitiva, y para dejar la cuestión bien centrada: hablando en la terminología de Bergara y Spiller, se abandonaron las divisas de la Ingeniería para abrazar las de la Economía; y los ingenieros, fascinados por el acontecimiento, aprendieron rápidamente con la fe del converso los nuevos conceptos que incorporaban los "parvenus" al sector: "riesgo moral", "selección adversa", "idiosincrasia de la inversión", "asimetrías de información", "retraso regulatorio", "efecto trinquete", "desacoplamiento de ingresos y ventas", "enviar señales"<sup>(6)</sup>, etc., que fueron sedimentando como un estrato sobre los más propios de "bias de frecuencia", "criterio



(n-1)", "índice de cobertura", "nivel de falta", etc., que fueron arrumbados poco a poco en el fondo de su memoria para no estar "demodés", iniciándose así el desacoplamiento entre Ingeniería y Economía.

### LA RESPUESTA TÍPICA: "FUE UN ERROR HUMANO"

En los días siguientes al apagón de Nueva York la prensa apuntó al

<sup>3</sup> La regulación al coste del servicio ha sido extraordinariamente criticada para justificar las razones de la reforma, pero no son pocos sus incentivos: (a) un retraso regulatorio infinito la convierte en un esquema de incentivos de precio fijo, y el incentivo para la reducción de costes sería máximo; en la práctica la congelación de tarifas es un mecanismo de penalización de la ineficiencia (véase Alfred Kahn, "The Economics of Regulation" The MIT Press, Cambridge Mass. 1988, vol II, p.48); (b) al recuperar todos los costes la eléctrica tiene un incentivo para la mejora continua de la calidad de servicio; (c) no es un esquema intensivo en información; (d) el comportamiento imprudente de la eléctrica puede ser neutralizado por el regulador retroactivamente; y (e) el coste de las transacciones es muy bajo (simplifica las decisiones de compra de los consumidores).

<sup>4</sup> El mercado es un mecanismo que funciona en tiempo real.

<sup>5</sup> Ver el apartado "Una cuestión final" en este artículo.

<sup>6</sup> Sobre todo "enviar señales". Hoy todo el mundo "envía señales", aunque sirven de poco. ¿Acaso no eran señales, y de alarma, todas las descritas en la introducción de este artículo y no han servido para evitar los últimos colapsos? Pero es que, además, la pregunta que hay que hacer a los economistas sobre este asunto es ¿no estará el problema en el "envío de señales" mediante modelos institucionales?

"error humano" como causa del mismo: "Varios expertos, incluyendo antiguos ingenieros del Ministerio de Energía y consultores de los reguladores del Sector Eléctrico, dijeron ayer que habían llegado a la conclusión de que sólo el error humano podría explicar la secuencia de cortocircuitos de una hora de duración en las líneas de transporte de Ohio que precedieron al "cero" de tensión. Dijeron que podía haber ocurrido una de estas dos cosas: o los ingenieros sobrestimaron la capacidad de transporte de las líneas o los operadores sobrestimaron la potencia que podían bascular a otras líneas cuando las cosas empezaron a ir mal". Y más adelante: "Otros expertos de red dijeron que estaba empezando a estar claro – cuando la secuencia cronológica de eventos se examinó detalladamente el pasado jueves — que el error humano tenía que haber jugado algún papel en la hora precedente al "cero" de tensión. Las líneas que se dispararon deberían haber podido manejarse".

El pasado mes de junio el profesor François Daniellou, autoridad internacional en Ergonomía, pronunció en Madrid una Conferencia sobre "Error humano". Expuso que si bien errare humanum est, los ergónomos no hablan de error humano "porque lo que no se puede decir es que el error de un hombre o de una mujer sea la causa de un accidente industrial", y siguiendo el libro de James Reason, el especialista por excelencia en error humano, leyó literalmente: "En vez de considerar a los operadores como principales instigadores del accidente, se debe entender que son los herederos de los defectos del sistema, establecidos por un mal diseño, una mala implantación, un mantenimiento defectuoso, y por malas decisiones por parte de la dirección.../... Cuanto más alejados se encuentran los individuos de las actividades de primera línea y de los riesgos directos, más peligrosos son potencialmente para el sistema". En este punto se podría añadir que lo anterior no sólo es aplicable al esque-



ma de control de un sistema de potencia sino también al diseño del mercado competitivo de electricidad antes descrito. En otras palabras, no hay razón para que la hipótesis del error no alcance hasta los diseñadores del mercado eléctrico.

Después de introducir el concepto de "error latente", el profesor Daniellou disertó sobre el desarrollo de los oficios como una de las condiciones de la fiabilidad organizativa: "Un oficio no es meramente un grupo de trabajadores que hacen el mismo trabajo. Un oficio es un colectivo, con una historia, que ha desembocado en un sistema de reglas propias. La historia del oficio transmite a los novatos "reglas del oficio" que les ayudan a hacer frente a situaciones complejas. Aquellas reglas son distintas de las oficiales formalizadas en los procedimientos. Incluyen la experiencia corporal, el conocimiento vivido de las reacciones de los dispositivos y de las situaciones críticas. El grupo de oficio acoge y enmarca a los nuevos operadores, acompañándoles hasta que desarrollan su estilo propio, en el marco de las reglas del oficio y de la participación en la actuación colectiva. La tradición del oficio constituye una de las barreras más eficaces para prevenir acontecimientos no deseados. Desgraciadamente, hay siempre más ejemplos de colectivos de oficio desbaratados o destruidos por las formas actuales de gestión de recursos humanos. .../... Otra fuente de peligro es la ausencia de gestión demográfica.../... La falta de previsión sobre las jubilaciones

masivas tiene como consecuencia la llegada de un gran número de operadores sin experiencia, que no disfrutaron de la transmisión paulatina de las reglas del oficio, y que se encuentran de repente gestionando fenómenos complejos para los cuales no han sido preparados. Se ha perdido el oficio." Ciertamente, en estos tiempos de "outsourcing" y "knowledge management", cuando por

ejemplo se conoce que el sector eléctrico británico pasó de 123.300 a 68.372 empleados entre 1989/90 y 1995/96<sup>(8)</sup>, hay que convenir que el conocimiento no se trasmite como prescribía Ortega en "En torno a Galileo".

## LA OTRA RESPUESTA

Empero, no todos pensaron inmediatamente en el "error humano". Paul Krugman fue directamente al grano en un editorial en el *New York Times*, titulado "El camino a la ruina", y publicado tan sólo cinco días después del apagón (12). Además de afirmar que la causa del descuido de que el sector eléctrico no hubiera invertido suficiente en sistemas de control era la "desregulación basada en la fe", citaba las declaraciones de Paul Joskow a la FERC cuatro años antes: "Avanzar suponiendo que, actualmente, el mercado proporcionará los aumentos necesarios de la red de transporte es el camino hacia la ruina." Y cuatro días después, cuando todavía no se habían producido los colapsos de los sistemas sueco e italiano, *Le Monde* publicaba en sus páginas de opinión un análisis titulado "Electricidad: una liberalización en riesgo" (13), que terminaba de esta manera: "Resumamos: un electricista



nacional debilitado, una apertura al capital incierta, una liberalización que está lejos de haber dado prueba en los países pioneros... En estas condiciones, la interrupción de la cuenta atrás posiblemente es menos irrazonable de lo que parece".

Transcurridos tres meses, son ya mayoría los que reconocen que la causa-raíz está en que los mecanismos de mercado no han sido capaces de incentivar la construcción de nueva capacidad; y esto constituye un reconocimiento implícito de que las divisas de la Ingeniería no se deberían haber abandonado<sup>7</sup>.

Desde la perspectiva eléctrica, aunque la investigación en curso del apagón norteamericano es secreta, parece que ha sido la falta de reactiva lo que produjo el colapso de tensión de las líneas que afectó a la estabilidad del sistema norteamericano. Ya antes se había manejado la reactiva como causa de los colapsos de tensión de los ceros de julio de 1996 en la costa del Pacífico y del cero de 1978 en Francia. Todo indica que los casos sueco e italiano también han sido colapsos de tensión aunque no debidos a la acción del mercado.

Durante los últimos años, los electricistas han venido advirtiendo que la separación funcional de las Compañías derivada de la reforma las ha hecho depender más del transporte a grandes distancias, ha creado mayores necesidades de reactiva, al mismo tiempo que limita las condiciones para producirla. Las centrales y líneas eléctricas consumen potencia reactiva para alimentar los campos magnéticos necesarios para su funcionamiento. Las eléctricas integradas verticalmente, no transportaban a grandes distancias, sino en su entorno regional, y solían ser autosuficientes en reactiva produciendo la necesaria para cubrir sus necesidades. Con la competencia, existen productores independientes en la región de las antiguas compañías integradas

que inyectan potencia en la red de éstas y la pueden vender en nudos muy distantes, pero no tienen incentivo alguno en generar reactiva porque no se les paga principalmente por ella. Al parecer, el día del cero varios productores independientes estaban generando grandes cantidades de activa para venderla en nudos distantes, pero muy poca reactiva, que tuvo que aportarla toda First Energy, la empresa afectada; Peter Nurg, su presidente ejecutivo acaba de insinuarlo: "Los análisis internos y externos realizados hasta la fecha sugieren que contribuyeron diversos factores a la interrupción, entre los que estarían: (a) flujos a grandes distancias desde el sur hacia el norte que forzaron el sistema y originaron un gran incremento de demanda de suministro de energía reactiva (b) limitado margen disponible de energía reactiva para mantener la tensión en un área multiregional, y (c) las responsabilidades de la red ahora en manos de un mayor número



de contingencias en tiempo real, para hacerlo correr en los ordenadores de los centros de control como ayuda a los operadores de red, que al software orientado a la creación de un mercado artificial de electricidad. Parece ser que la respuesta es no.

La creación del mercado eléctrico ha sido un proceso puramente dialéctico, que, hasta ahora, no sólo ha no ha podido fomentar las inversiones en capacidad necesarias para evitar las crisis eléctricas y las interrupciones masivas de electricidad aquí mencionadas, sino que tampoco ha sido capaz de arrastrar al proceso de innovación de las electrotecnologías que eran necesarias para hacerlo realidad. Mientras las decisiones administrativas se implementaban sencilla e inmediatamente sancionando una nueva ley o reglamento, el proceso de investigación y desarrollo electrotécnico quedaba estancado y desacoplado de las reformas legislativas y económicas del sector. Ahora se habla del FACTS como una tecnología que puede resolver problemas de colapsos de tensión, pero del FACTS se viene hablando hace 12 años y aún no está disponible. De la "custom power" se viene hablando desde hace ocho y se puede decir otro tanto de ella. Lo mismo ocurre con los cables superconductores de alta temperatura (mediados de los 80), y del transporte en continua a muy alta tensión desde hace muchos más años. Mejor ni mencionar un material tan simple como los transformadores de chapa amorfa.



de entidades exige mayor coordinación y comunicación".

Cuando ahora se dice que los operadores de los centros de control no disponían de una visión global de lo que estaba ocurriendo y que la comunicación entre los centros de control no ha sido la correcta, cabe preguntarse si se ha puesto el mismo empeño, y dedicado los mismos esfuerzos y recursos, a crear software de análisis de fiabilidad y determina-

<sup>7</sup> Tampoco sería una decisión tan antieconómica si recordamos el dicho del duque de Wellington: "Por definirlo ruda pero no inapropiadamente, Ingeniería es el arte de hacer bien con una libra lo que cualquier chapucero haría por dos imitándolo."

Una marea de consultores, analistas y expertos explicaban, debatían y proponían cuáles eran las transformaciones administrativas que había que hacer en el sector, mientras las Compañías iban menguando sus unidades de Ingeniería, Estudios y Planificación y se cerraban los laboratorios compartidos de I+D en Electrotecnia porque estas funciones las iría asumiendo el mercado. Ahora, casi todas las soluciones que se proponen son tecnológicas, pero la tecnología que resolvería todos estos problemas no está en fase, ha perdido sincronismo. Sin embargo, estas transformaciones administrativas no aplican, por ejemplo, para manejar los retardos de un sistema de potencia cuando pasa de un estado a otro "controlado por precio siguiendo a la demanda". No es extraño así que el profesor Alvarado ya se preguntara a principios de este año, en una magnífica ponencia, si es factible un sistema de control guiado exclusivamente por el precio. Lo más probable es que los mercados de Electricidad a grandes distancias sean de momento sólo ilusiones.

Cuando Schwebpe ideó el mercado hace 25 años, también ideó el control homeostático. La Ingeniería de control de los sistemas de potencia tiende por propia naturaleza al concepto homeostático propuesto por Schwebpe. Él decía que la robustez del sistema se conseguiría cuando todos los consumidores finales se ajustaran a las condiciones de frecuencia y tensión del sistema, y por acumulación se obtendría el equilibrio entre suministro y demanda en tiempo real. La inteligencia distribuida de sensores y actuadores que el avance de las tecnologías de la información está permitiendo instalar en la red, es ya un paso adelante respecto a la coordinación estática de los antiguos esquemas de control. Pero el concepto básico de Schwebpe necesita aún ampliarse tremendamente. El sistema ideal proporcionaría la coordinación mediante protocolos (20).

Por ejemplo, a cualquier dispositivo conectado a la red de potencia se le podría pedir que se identificase a sí mismo y a sus características (v. gr.: potencia que consume, potencia que podría generar, etc.). Cuando se produjera un evento, se obtendría, especificación mediante, la información necesaria para coordinar el sistema y lograr el equilibrio. Aún estamos lejos de esto, crear una estructura de control así es un auténtico desafío, sobre todo cuando hay que conciliar fiabili-

se podrá saber acerca de la bondad de lo que se está haciendo.

El análisis empírico de los autores está basado en 177 Compañías eléctricas de propiedad privada (*investor owned utilities*) que representan 83% de la producción total de la electricidad de los EE.UU. por Compañías entre 1998-2001. Los resultados del estudio muestran que el proceso de la reforma tiene un impacto negativo en la eficiencia productiva de las compañías. Sin embargo, las firmas que se integran verticalmente en la generación de la electricidad, o que confían en el mercado para el suministro de electricidad, son más eficientes que las firmas que adoptan estructuras híbridas combinando la integración vertical y los contratos.

La literatura de la estrategia de negocios aconseja estructuras diferentes de gobernanza<sup>(8)</sup> para enfrentarse con la incertidumbre relacionada con entornos en proceso de cambio. Por un lado, la Economía del Coste de las Transacciones sugiere que las firmas pueden reducir su exposición a la incertidumbre creada por el proceso de reforma adoptando estrategias integración vertical. Contrariamente, los estudiosos de la teoría de la organización discuten que las firmas se desintegran verticalmente y adoptan estructuras flexibles de gobernanza para aumentar su adaptabilidad a las nuevas condiciones.

Las jerarquías son fruto de la necesidad de reducir determinados costes del mercado, los "marketing costs" que anticipara en los años 30 el entonces "proscrito" Ronald Coase (Nobel de Economía en 1991), en su famoso artículo "The nature of the firm" (1937), rebautizados en 1975 por Williamson como "costes de las transacciones". En otro caso, la empresa no sería necesaria. El trabajo de Delmas y Tokat nos dice que los costes de las transacciones estarían aumentando con la reforma.

Antes de que la reforma periclite en un debate bizantino sobre la vuelta al punto de partida (regulación > des-



dad y competencia en tiempo real.

## UNA CUESTIÓN FINAL

Un problema es que la reforma está afectando a la fiabilidad pero ésta no está en el origen de la reforma. El origen de la reforma está en la ganancia de eficiencia (eficiencia de asignación, eficiencia dinámica y eficiencia estática). Pero ahora la eficiencia está en cuestión porque ya se está midiendo, y los resultados que arrojan los primeros estudios de Delmas y Tokat indican que la reforma está afectando negativamente a las empresas después de su separación funcional. Se ha hablado mucho de la bondad de la separación funcional o "unbundling", pero hasta ahora no se había medido. A la "racionalidad verbal" que ha presidido hasta ahora la argumentación de la reforma, se contraponen la "racionalidad métrica". Recordando el dicho de Lord Kelvin: "No sabemos nada de una cosa hasta que no podemos medirla", ahora que los resultados de la reforma se pueden medir en términos de eficiencia,

<sup>8</sup> Término recomendado por Lázaro Carreter.

regulación > re-regulación), sería importante ahondar en las razones de esta pérdida de fiabilidad y eficiencia, y volver a mirar hacia la Ingeniería para abrir vías de recuperación de la fiabilidad y ganancia de eficiencia en la eléctrica, pinte "más jerarquía y menos mercado" o pinte "menos jerarquía y más mercado".

La empresa eléctrica ha afrontado la reforma con las estructuras de gobernanza y las tecnologías de que disponía. Pudiera ser que lo que se gane en eficiencia de asignación (mercado) y eficiencia estática (regulación) no compense lo que se pueda estar perdiendo en eficiencia dinámica (tecnología), porque los apagones son pérdidas<sup>9</sup>. Si esto fuera así, sería porque las tecnologías requeridas no se están insertando en el sector reformado a la velocidad que se había pensado. O que los ímpetus de la Economía se han adelantado a las posibilidades de la Tecnología.

Las jerarquías en el campo de la decisión distribuida es un asunto en rápido desarrollo que comprende campos tan diversos como la optimización jerárquica, la planificación de la producción jerárquica, los sistemas multiagente, la teoría agente-principal, la contabilidad de costes, las negociaciones jerárquicas, la decisión en equipo, etc. En la mayoría de los casos, estas áreas son parte directa de diferentes disciplinas como la Investigación Operativa, la Informática, la Teoría Económica, la Contabilidad de Gestión, la Teoría de la

Organización, la Psicología, la Sociología, y otras.

La reforma esta haciendo que los problemas fundamentales de la operación del negocio eléctrico reformado a menudo se vuelvan básicamente un juego teórico, a causa de la gran



variedad de responsables distribuidos que toman decisiones sujetos a gran incertidumbre; lo que conduce a contemplar el juego como un problema de sistemas. Además de ver estos problemas exclusivamente como tecnológicos, interesa también su formulación como un problema interdisciplinar, que abarque el soporte informático, aspectos ambientales, económicos, de Ingeniería, administrativos, sociales, legales, etc. Pero lo primero que importa es identificar las tecnologías principales que son la base para la resolución estos problemas fundamentales. Elaborar una lista de "tecnologías habilitadoras", que comprenda desde las tecnologías de sistemas multiagente que soportan las decisiones distribuidas, hasta nuevos métodos de cálculo que soporten decisiones en un rango que vaya del tiempo real hasta un horizonte plurianual.

Al final, el foco de la reforma podría no estar ni en la fiabilidad ni en la regulación, sino en la Teoría de la Organización y la tecnología, y puede que la cuestión más interesante del fu-

turo inmediato para resolver los problemas que nos ocupan sea: ¿Cuáles son las tecnologías que gestan la forma de organización que debe adoptar la eléctrica para lograr la mayor fiabilidad y eficiencia?

En tanto se responde esta cuestión, lo más prudente sería esperar a que Ingeniería y Economía se reacoplen<sup>(7)</sup>.

## FINAL

Habiendo tratado de luz, podríamos terminar con una estrofa de "Tormenta", aquel tango de Dicsépolo que tan bien cantaba Nacha Guevara la última vez que estuvo en Madrid, en el que implora a Dios: "...No quiero que tu rayo me enceguezca en su fulgor, porque preciso luz para seguir..."

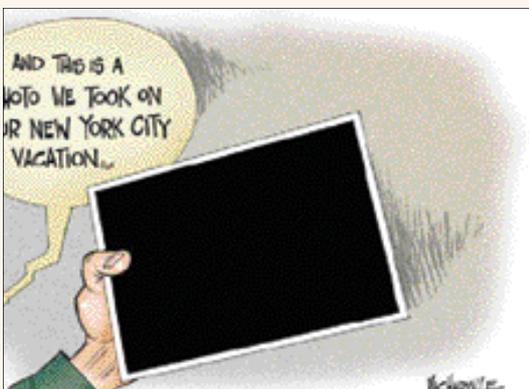
Hemos dejado que nos cegara el fulgor del "dios-mercado" y de la "diosa-competencia", que auguraban un Olimpo de electricidad abundante y barata, sin reparar en la Ingeniería que ese Olimpo exigía... Enron tan sólo fue un espejismo cegador, fruto de la Contabilidad creativa, que permitió el enriquecimiento fraudulento de algunos bribones. Es importante reacoplar cuanto antes Ingeniería y Economía, y hallar esa luz, no tengamos que acabar pidiendo como Goethe: "Mehr Licht!"

## REFERENCIAS

(1) Vassell, Gregory S. , "Northeast Blackout of 1965". Public Utilities Fortnightly, October 11, 1990

(2) La siguiente es una magnífica página de Internet en la que se puede encontrar amplia información tanto del caso norteamericano como de los de Londres, Suecia e Italia: The University of Wisconsin – Madison. Power System Research Center Resources for Understanding the Blackout of 2003.

<http://www.pserc.wisc.edu/Resources.htm>



<sup>9</sup> Sería una triste paradoja que, como ocurre con los accidentes de tráfico, existiera una correlación entre PIB y apagones, pero una prueba de que en el siglo XXI hay asuntos que ya no se pueden tratar sin más con la herencia de la teoría marginalista de Pareto. Akerloff, Spence, Stiglitz, Nash y otros están ahí.

(3) El documento se puede descargar accediendo a esta dirección de Internet:

<http://www.policy.energy.gov/electricity/postfinal.pdf>

(4) René Pélissier, "Les réseaux d'énergie électrique - Tome I: "Les aspects techniques du service". Dunod. Paris. 1971. Pág. 156: 5. La continuité du service; 5.1. Application: Étude d'une panne exceptionnelle; 5.5.1. L'incident du Nord-Est des U.S.A. du 9 novembre 1965.

(5) Hirsh, Richard F. "Power Loss: The Origins of Deregulation and Restructuring in the American Electric Utility System". Cambridge, MA: MIT Press, 1999



(6) Schweppe, Fred C. July 1978. "Power Systems '2000': Hierarchical Control Strategies." IEEE Spectrum: 42-47.

(7) Schweppe, F. C., R.D. Tabors, J.R. Kirtley, H. Outhred, F. Pickel and A. Cox, 1980. "Homeostatic Utility Control", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, No. 3

(8) Bergara, Mario E. , y Spiller, Pablo T. , "The introduction of direct access in New Zealand's electricity market". Utilities Policy, Vol 6, N° 2, pp. 97-105, 1997. Se puede descargar de esta dirección de Internet: <http://www.ucei.berkeley.edu/PDF/pw043.pdf>

(9) Página del Ministry of Economic Development con la investigación:

<http://www.med.gov.nz/inquiry/>

Dirección de Internet con la Historia:



<http://www.kiwiclub.org/kiwiklips/news/news5c.html>

Otra dirección interesante:

<http://canterbury.cyberplace.org.nz/community/CAFCA/publications/Electricity/>

(10) Glanz, James y Revkin, Andrew C. , 2003. "Energy Dept. Will Take Control of Blackout Investigation". The New York Times. 20 de Agosto <http://www.nytimes.com/2003/08/20/nyregion/20POWE.html?pagewanted=print&position=>

(11) Daniellou, François. 25 de junio 2003. "Del error humano a la fiabilidad organizativa". Escuela de Organización Industrial. Madrid.

(12) Reason, James. 1990. "Human Error" 316 pp. Cambridge University Press. ISBN 0521314194

(13) Krugman, Paul. 18 de agosto 2003 "The Road to Ruin". The New York Times.

<http://www.nytimes.com/2003/08/19/opinion/19KRUG.html>

(14) Lemaître, Frédéric. 2003, "Electricité: une libéralisation risquée". Le Monde. 22 de agosto.

(15) Por ejemplo: USATODAY.com. "Give utilities better reasons to fix electric grid". 2003, 15 de septiembre.

[http://www.usatoday.com/news/opinion/editorials/2003-08-27-edit-usat\\_x.htm](http://www.usatoday.com/news/opinion/editorials/2003-08-27-edit-usat_x.htm)

(16) Perez-Pena, Richard y Lip-ton, Eric. 2003. 23 de septiembre. "Elusive Force May Lie at Root of Blackout"

The New York Times

<http://www.nytimes.com/2003/09/23/national/23POWE.html?ex=106653600&en=63a10942eb4a46ff&ei=5070>

(17) EPRI 1991. "Flexible AC Transmission System (FACTS): Scoping Study": Technical Report, EPRI EL-6943, vol. 2, September.

(18) Hingorani, N.G. 1995, "Introducing custom power". Spectrum, IEEE, pp. 41-48. June

(19) Alvarado, Fernando L. , 2003, Enero. "Is System Control Entirely by Price Feasible?" Proceedings of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences <http://www.pserc.wisc.edu/ecow/get/publicatio/2002public/systemcontrol.pdf>

(20) Ilic, Marija. "Change of paradigms in complexity and interdependencies of infrastructures: The case for flexible new protocols" EECS Department MIT, Cambridge, MA <http://web.mit.edu/ilic/www/papers/pdf/changeofparadigms.pdf>

(21) Delmas Magali y Tokat, Yesim. Marzo 2003. "Deregulation Process, Governance Structures and Efficiency: The US Electric Utility Sector". Energy Policy and Economics Working Paper Series. University of California Energy Institute. [http://www.ucei.edu/Working Papers/EPE\\_004.pdf](http://www.ucei.edu/Working Papers/EPE_004.pdf)

(22) Broek van den, Hans. 2001. "On agent cooperation : the relevance of cognitive plausibility for multiagent simulation models of organizations" Labyrinth ISBN 90-72591-84-4 <http://www.ub.rug.nl/eldoc/dis/management/j.van.den.broek/>

(23) National Science Foundation – 2003 - Control, Networks, and Computational Intelligence Program Sponsored Workshops. November 3-4 Applied Mathematics for Deregulated Electric Power Systems: Optimization, Control, and Computational Intelligence. <http://www.ecse.rpi.edu/homepages/chowj/NSFworkshopMain.html> ■