

# Cambio estratégico y tendencias en la prestación del servicio de energía eléctrica

## Strategic change and trends in the service of electrical energy

Carlos Díaz Rodríguez\*

### Resumen

Se desarrollan los principales factores que definen el modelo industrial del servicio de energía eléctrica desde la comprensión de su funcionamiento básico y la conceptualización de las diferentes etapas que llevaron a sistemas eléctricos interconectados de orden nacional e internacional, con especial atención a las consecuencias ambientales. Seguidamente, se caracterizan los cambios fundamentales que registrará el sector eléctrico en un contexto posindustrial, es decir, la configuración de una economía del hidrógeno, que implicará pasar de sistemas eléctricos centralizados basados en combustibles fósiles a sistemas distribuidos sostenibles ambientalmente. Se reconoce una transición energética apoyada en la obtención de hidrógeno a partir de los combustibles fósiles y las alternativas tecnológicas de captura y secuestro de CO<sub>2</sub> que permitan atenuar los efectos del cambio climático global.

### Palabras clave:

Servicio de energía eléctrica, medio ambiente, economía del hidrógeno.

### Abstract

This paper develops the key factors that define the industrial model of the electric power service. It begins with the comprehension of the basic functioning of this service and the conceptualization of the different stages that led to electrical interconnected systems at both national and international order. Special attention is given to the environmental consequences. Then the paper shows the characteristics of fundamental changes in the electric energy sector in a post industrial context, in other words, the configuration of a hydrogen economy which will imply to pass on from electrical centralized systems based on fossil fuels to environmentally sustainable distributed electric energy systems. It is recognized that there is a transition in the energy world that is relied on the obtaining hydrogen from both fossil fuels and technological alternatives of CO<sub>2</sub> capture and storage that should allow attenuating the effects of the climatic global change.

### Key words:

Electric power service, environment, hydrogen economy.

---

## Hacia una sociedad posindustrial

Desde la segunda mitad del siglo XX, el ritmo de cambio experimentado en el mundo no tiene antecedentes conocidos, acontecimientos singulares, novedosos y discontinuos que han originando una alta complejidad e incertidumbre del entorno (Ansoff, 1997), especialmente en los países desarrollados, y que configuran un nuevo tipo de sociedad en transición que se ha denominado posindustrial (Bell, 1976) o post capitalista (Drucker, c 1994).

Los principales cambios fundamentales o estratégicos que se están desarrollando y en especial afectan el sector energético y la industria eléctrica son:

- La liberalización que busca incrementar la rivalidad competitiva en actividades y sectores que tradicionalmente no habían sido expuestos a la competencia y que no tenían incentivos a la eficiencia por su posición

Fecha de recepción: agosto 10 de 2005

Fecha de aceptación: septiembre 1 de 2005

---

\* Profesor de la Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Administración ambiental, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

dominante y apropiación de rentas de monopolio. El objetivo esencial de la liberalización es lograr una mayor capacidad de discusión y elección de los clientes en términos de precios y calidad.

- La globalización expresada en sus dimensiones objetiva, ideológica y económica marcha a distintas velocidades, teniendo manifestaciones favorables y desfavorables (Martínez; 2000). En la práctica, la globalización ha orientado a las organizaciones, especialmente las grandes compañías de servicios públicos y energéticas, a buscar mayor poder de mercado mediante estrategias de internacionalización acompañadas con procesos de fusión y adquisición.
- Los procesos de adopción e incorporación de nuevas tecnologías que se diferencian de las etapas anteriores en cuanto a su generalización, sistematización y aceleración. Los principales cambios tecnológicos se han venido concentrando especialmente en las tecnologías de la información y las comunicaciones, la biotecnología, tecnologías de los materiales, tecnologías energéticas y la tecnología espacial (Reboloso, 2000; Morcillo, 1997).
- La cuestión medioambiental se orienta al cumplimiento de los compromisos establecidos en el protocolo de Kioto y a la necesidad de incorporar tecnologías limpias. Esta preocupación esencial cuestiona el crecimiento económico tradicional como principal instrumento de progreso social; entra en escena la ética del crecimiento con responsabilidad social, pero sin claridad de las posibles implicaciones del estancamiento del crecimiento proveniente del desarrollo industrial (Ansoff, 1997).

Raymond (1984) plantea que en la sociedad posindustrial se reconoce que la naturaleza no se puede administrar y controlar, sino buscar una interdependencia y compatibilidad con ésta, es decir, la relación no se debe basar en interacciones mecánicas sino en formas orgánicas susceptibles de adaptabilidad y reinención; por eso en el sector energético hay un resurgir de las energías renovables con un alto componente tecnológico, las pilas de combustible, los sistemas distribuidos y la economía del hidrógeno que en la actualidad tienen algunas restricciones competitivas, pero en el mediano plazo armonizan, mucho más coherentemente que los combustibles fósiles, con el triángulo estratégico de la energía: precio de la fuente de energía-eficiencia energética-protección del medio ambiente.

En contraste, la sociedad agrícola presentaba una alta dependencia de la naturaleza, la creación de riqueza se sustentaba en el trabajo muscular aplicado a la tierra. En el campo energético se explotaban fuentes renovables de energía, ya sea mediante la leña, el agua, el viento y los animales (Toffler, 1980; Drucker, 1994).

En la sociedad industrial se pretende administrar y dominar la naturaleza, el paradigma económico que integra y sostiene son las economías de escala por efecto tamaño y grandes volúmenes de producción para mercados masificados. El trabajo manual, la gran fábrica y el gran capital son las características que jalonan el crecimiento económico y el entorno físico es un objeto de dominio y maximización económica.

En la tabla 1 se caracterizan en forma sintética las tres eras, denominadas por Toffler (1980) como olas, con algunas dimensiones de interés.

Tabla 1. Evolución de las eras y características principales.

Evolución de las eras	Sector predominante	Competitividad	Organización	Fuente de riqueza	Fuentes de energía	Consumo per cápita de energía diario	Sector eléctrico
Era agrícola	Tierra	Estrategias basadas en la dominación y la tradición	Organización feudal	Tierra y trabajo muscular	Energías renovables de baja tecnología	Hombre primitivo: 2000 kcal/día; Hombre cazador: 6.000 kcal/día; Hombre agrícola: 12.000 kcal/día	
Era industrial	Manufactura	Estrategias de reducción de costos	Organización burocrática	Trabajo manual y la gran fábrica	Energías no renovables y sistemas centralizados	Hombre industrial: 77000 kcal/día; hombre tecnológico: 230.000 Kcal/día	Sistemas centralizados, vulnerables e interdependientes

Fuentes: Bell (1976), Goldemberg (1999), Toffler (1980 y 1990), Oren y Smith (1994).

## Características y funcionamiento básico de la prestación del servicio de energía eléctrica

En el caso de la energía eléctrica, su surgimiento y desarrollo se circunscriben a la era industrial; reviste un carácter estratégico para los consumidores finales y para las organizaciones que la utilizan como factor de producción, por eso es innegable su incidencia en otros sectores de la economía (Joskow, 1997). En estudios relacionados con los beneficios de la electricidad en la creación de riqueza, Ferguson y otros (2000) encontraron una importante correlación entre estas variables. Las investigaciones han arrojado una mayor incidencia del consumo de la electricidad en el desarrollo de la sociedad moderna, que los indicadores tradicionales de energía total que son utilizados frecuentemente para caracterizar la etapa de desarrollo de un país.

Las principales características técnicas y económicas de la industria eléctrica actual son:

- La energía eléctrica reviste un carácter esencial, por lo que es fundamental garantizar ciertos estándares de calidad y cobertura del servicio.
- La energía eléctrica no es almacenable económicamente en cantidades significativas, entonces su producción se debe ajustar instantáneamente a su demanda.
- La operación del sistema eléctrico es el resultado de una compleja cadena en la toma de decisiones donde la electricidad se propaga a la velocidad de la luz; esto implica que cualquier perturbación de la red podría tener grandes efectos y en forma rápida y contundente.
- Los activos materiales necesarios para la industria del sector eléctrico requieren cuantiosas inversiones y son de carácter específico y duradero (Boot y otros, 2003).

El suministro de la energía se inicia con la producción de energía eléctrica que consiste en la transformación de una fuente primaria de energía en electricidad. Una vez que se presenta una diferencia de potencial en los bornes del generador, la energía eléctrica se transmite a través de redes de transporte de alto voltaje que generalmente superan los 220 kv. La actividad de transmisión se compone de transformadores con sus módulos de conexión, conductores y subestaciones con sus equipos asociados. Luego mediante un proceso de transformación del voltaje se lleva a niveles de distribución de energía, en que la red de distribución opera a tensiones menores de 220 kv. La distribución se ocupa de hacer llegar la energía eléctrica a la mayoría de los consumidores que no están conectados a la red de transmisión, desde niveles de distribución de alta tensión que cuentan con sistemas enmallados y la opción de alimentarse de nodos vecinos, y luego a nivel de media tensión y baja tensión se lleva a los consumidores.

Una actividad esencial de la prestación del servicio de energía eléctrica es la comercialización, que es un servicio asociado con los roles de medición, facturación, atención al cliente y, en sentido amplio, compra al por mayor y venta a tarifas no reguladas a los consumidores finales que tengan libertad de elección comercializadora.

## Desarrollo de la prestación del servicio de energía eléctrica

### *Sistemas eléctricos descentralizados y aislados*

En sus inicios la electricidad era utilizada solamente para alumbrado público, conllevando una utilización ineficiente y costosa de la capacidad instalada de generación, expresada en factores de carga entre 10% y 15%, debido a que los consumos de energía eléctrica se realizaban exclusivamente en las horas de la noche. Para intentar estimular el consumo en otras horas, las empresas buscaron promocionar sus servicios en cocción, calentamiento y fuerza motriz. Los cargos de electricidad se determinaban en función de la cantidad de luminarias instaladas (Chao y Siddiqi, 1993).

La industria eléctrica se desarrolló con negocios individuales que generaban electricidad de una manera independiente y descentralizada, controlada por operadores locales. Las plantas aisladas se conectaban directamente a una carga y era usual contar con unidades de respaldo para adelantar mantenimientos y fallas no programadas en el servicio (Torres y otros, 2004).

En muchos países desarrollados la gestión del servicio de energía eléctrica se soportó en el uso de tecnología avanzada y en la estrategia de construir para crear sistemas de potencias grandes y monopolísticos que eran legitimados por los organismos reguladores. Las formas organizativas predominantes fueron las compañías *holding* que permitían afrontar los fuertes retos financieros que enfrentaban y que se avecinaban para responder a una demanda de energía con crecimientos cuasiexponenciales (Álvarez Pelegrí, 1997).

En Colombia, durante esta etapa de desarrollo la visión empresarial fue muy localista e impregnada por fuertes intereses políticos de orden nacional e internacional y fue muy tímida en la promoción de usos alternativos de la energía eléctrica al alumbrado público. Es de anotar que el paso de la visión local a la visión nacional fue impulsado por la Compañía Colombiana de Electricidad, que era de capital estadounidense e impulsó una infraestructura y calidad del servicio con criterios modernos (De la Pedraja, 1993).

### *Sistemas eléctricos basados en el transporte de energía a altos voltajes*

Se conforman pequeños sistemas regionales integrados de producción-transporte-distribución por la posibilidad de

transportar energía eléctrica a grandes distancias y elevados niveles de voltaje que permiten satisfacer la demanda de ciudades y regiones a partir de un número pequeño de unidades generadoras, así llegó a su fin la guerra de las corrientes, con el claro triunfo de la corriente alterna. Dicho esquema de prestación del servicio de energía eléctrica permite la programación de despacho de costo mínimo, ganancias por las complementariedades de la generación térmica e hidráulica y un aprovechamiento de la diversidad de carga diaria y estacional de los consumidores.

El transporte de energía eléctrica a gran escala propicia que sean posibles considerables economías de escala en: a) reservas de generación, b) uso intensivo de las unidades generadoras, c) establecimiento de grandes centrales térmicas en lugar de pequeñas unidades más costosas en inversiones y c) posibilidad de transportar la energía hidráulica a los centros de consumo normalmente muy alejados (Torres y otros, 2004).

La cultura de las compañías eléctricas se soportaba en tres pilares básicos: a) monopolios regulados que atendían un mercado de consumidores pujante, b) tecnologías de generación de gran tamaño buscando aprovechamiento de las economías de escala, c) ideología y cultura que justificaba la gestión y el uso de tecnología de gran escala (Álvarez Pelligrý, 1997).

En Colombia, desde 1950 se especificaron las primeras líneas de transmisión con voltajes de 33 kv, 66 kv y 110 kv ante la necesidad de adelantar grandes proyectos que enfrentaran la creciente demanda de energía, que tuvieran en cuenta el aprovechamiento de las economías de escala, el acceso a cuantiosos recursos de capital, en que el municipio y el sector privado no tenían la capacidad de afrontar estos retos venideros. Se crean tres empresas de orden regional, apalancadas por el gobierno nacional que representen una participación mayoritaria (Sanclémente, 1993).

### ***Sistemas eléctricos interconectados de orden nacional e internacional***

La etapa siguiente fue la integración de los sistemas nacionales e internacionales, buscando que esos procesos de interconexión entre grandes regiones potenciaran el crecimiento económico de los países y paralelamente generaran beneficios como: a) disminución de la capacidad de reserva instalada de las plantas generadoras, b) aumento de la capacidad firme del sistema interconectado, c) mayor continuidad del servicio y disminución de los perjuicios causados por emergencias en las fuentes generadoras y d) beneficios en la operación del sistema (Torres y otros, 2004).

Un sistema eléctrico de esta naturaleza se caracteriza por incluir la totalidad de las unidades de generación, cargas y

las interconexiones que se encuentren en dicho sistema y la conformación de un operador o responsable del despacho que efectúa la coordinación de la operación de las plantas.

Hidalgo (1993) plantea que los principales elementos que caracterizan esta etapa y definen en gran medida los sistemas eléctricos actuales son:

- Las áreas que se definieron alrededor de los sistemas de generación y transporte han determinado los límites de los sistemas actuales.
- Las innovaciones técnicas que se desarrollan no cambian esencialmente las principales características de los sistemas eléctricos.
- Las compañías eléctricas tienen mayores facilidades para acceder a los recursos financieros y una gran capacidad de autofinanciación.
- Los grandes sistemas eléctricos definen las estructuras organizativas de las empresas.

En Colombia la idea de un proceso de interconexión eléctrica surgió a partir de la elaboración del plan nacional de electrificación 1965-1975 y se cristalizó a partir de Banco Mundial los nuevos préstamos, al estudio de factibilidad de la interconexión de los sistemas eléctricos regionales (ISA, 2002; De la Pedraja, 1993 y Sanclémente, 1993).

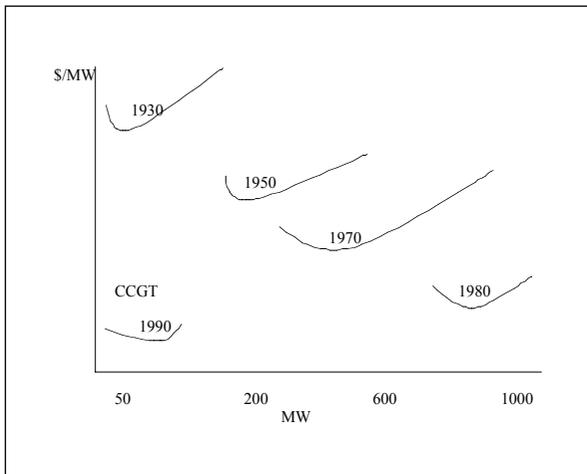
### **Modelo industrial del sector eléctrico y sus principales características**

Los principales factores que inciden y sustentan el modelo industrial del servicio de energía eléctrica se exponen a continuación.

#### ***Cambio tecnológico gradualista y explotación de economías de escala***

Las innovaciones del sector eléctrico no han cambiado esencialmente las características de funcionamiento de las empresas eléctricas; es así como el tamaño medio que permitía lograr la escala mínima de eficiencia era de 50 MW en la década de los treinta y aumentó hasta 1.000 MW en la década de los setenta. Con la introducción en la década de los ochenta de las turbinas de gas de ciclo combinado se redujo el tamaño medio de eficiencia a 100 MW e incluso a potencias menores. Así mismo, estas nuevas tecnologías implicaron la disminución de los costos de inversión, reducción de los tiempos de construcción y se pasaron de eficiencias de 35%-40% a rendimientos energéticos entre 55% y 60% (Pfeifenberger y otros, 1997).

En la figura 1 se presenta la evolución aproximada del tamaño medio de eficiencia de las tecnologías de generación térmica.



**Figura 1.** Curva de costos por tamaño óptimo de centrales térmicas.  
Fuente: Hunt y Shuttleworth, 1996

### ***Elevado grado de coordinación y responsabilidad de un operador de la explotación del sistema transporte-distribución***

A modo ilustrativo, en Colombia el sistema interconectado nacional está compuesto por las plantas de generación, el sistema de transmisión nacional, sistemas de transmisión regional, los sistemas de distribución local, subestaciones y equipos asociados y las cargas eléctricas de los usuarios. Dicho sistema eléctrico se organizó en áreas operativas que cuentan con centros regionales de despacho. El operador responsable de la coordinación y explotación del sistema se denomina centro nacional de despacho que garantiza una operación segura y confiable del sistema.

El elevado grado de interconexión y coordinación lleva a fuertes interdependencias de los sistemas nacionales e internacionales que han originado recientes y grandes apagones como el ocurrido en los sistemas interconectados entre Estados Unidos y Canadá e igualmente el sucedido en la estación de verano en Italia.

### ***La industria eléctrica como máquina única***

Las empresas del sector eléctrico se han caracterizado desde el punto de vista organizativo por ser una burocracia maquina. Dado que la secuencia física de producción era equivalente a la secuencia de las transacciones económicas, implicaba que los aspectos técnicos impregnaban a los aspectos económicos y organizativos en su funcionamiento, es decir, como una máquina única. Este planteamiento se liga con la visión de una organización maquina en estrecha dependencia de una misión y estructura de objetivos unificados y donde no se contempla la posibilidad de que surjan disfuncionalidades en su funcionamiento y su sistema de flujos.

Las condiciones técnicas de funcionamiento propiciaron la integración vertical de las fases de generación, transmisión y distribución en una misma unidad empresarial. Las relaciones entre esas unidades empresariales diversas eran bilaterales y alejadas de cualquier mecanismo competitivo.

La visión mecanicista de las compañías eléctricas se ha sustentado en la existencia de un entorno estable y simple, que tiene asegurados los ingresos y las tasas de retorno, ejerciendo poder de mercado mediante el efecto tamaño y altas concentraciones de los mercados, aprovechando las ventajas regulatorias de una industria concebida como un monopolio en toda la cadena de prestación del servicio de energía eléctrica y que altera esa situación monopólica con la introducción de competencia en ciertas actividades y el mantenimiento del monopolio exclusivamente en las redes eléctricas.

### ***El factor de carga como soporte de racionalidad económica para los inversores de la industria eléctrica***

Los propietarios y gestores de las compañías eléctricas centraron su análisis en el costo de capital a través del factor de carga, base para la toma de decisiones de inversiones, es decir, las causas del desarrollo y crecimiento de la industria eléctrica se encuentran en:

- La diversidad: el desarrollo de los sistemas para abarcar un territorio mayor no era simplemente cuestión de tamaño sino la búsqueda de diversidad de cargas para equilibrar las inversiones en generación.
- El *mix* económico entre fuentes de energía, especialmente las relacionadas con el agua y los combustibles fósiles. No solamente se buscaba diferenciarse en tamaño sino reducir los costos de energía.

### ***Servicio público y regulación***

El suministro de la energía eléctrica es un servicio público cuya regulación históricamente ha adoptado formas diferentes, desde la intervención directa del Estado, sociedades de economía mixta y comisiones reguladoras. En la mayoría de países las empresas públicas han estado a cargo del suministro de la electricidad, incluso en países con una participación tradicional del sector privado, entre los que se pueden contar Estados Unidos, Alemania y algunos países escandinavos (Hartley, 1998).

La justificación de regular un servicio público de esta naturaleza reside en que: i) estas industrias constituyen la infraestructura básica para el desarrollo económico y pueden condicionar las posibilidades de crecimiento, ii) son monopolios naturales y iii) la competencia no funciona bien por diversas razones (Kahn, 1990).

### **Configuraciones de la industria eléctrica**

El modelo industrial de la prestación del servicio de energía eléctrica no ha presentado un carácter estático sino ha sufrido diversos cambios en su estructura, impulsados por factores generales y sectoriales que se han venido analizando a lo largo de este artículo, como liberalización de los mercados, cambio tecnológico, globalización, protección del medio ambiente, interés público, entre otros.

Siguiendo a Hunt y Shuttleworth (1996), a continuación se clasifican cuatro modelos diferentes de organización de la industria eléctrica.

#### **Modelo de integración vertical**

Dicho modelo se sustenta en la concepción que la totalidad de las actividades del servicio de energía eléctrica son monopolios naturales, por lo cual se justifica que una sola empresa tenga un monopolio sobre determinados consumidores. Es decir, el generador es propietario de la red que hace posible el suministro, con la obligación que el precio del servicio se obtenga de los costos calculados con determinada metodología. En este caso las empresas integradas verticalmente realizan acuerdos comerciales de corto plazo, sin que exista competencia entre ellas.

#### **Modelo de comprador único**

En este caso existe una entidad de compras al por mayor (monopsonio), que compra electricidad a los generadores, pudiendo ella, a su vez, generar o no. La entidad de compras al por mayor, que tiene la obligación de suministrar la energía a los consumidores, vende a compañías distribuidoras que poseen monopolios sobre sus áreas de suministro donde venden a un precio regulado. Existe competencia a largo plazo a nivel de generación, para la instalación de nuevas unidades y monopolio en el nivel de distribución.

#### **Modelo de competencia en el mercado mayorista**

La estructura de la industria eléctrica en Colombia se sustenta en el mercado mayorista de electricidad, que entró en funcionamiento el 20 de Julio de 1995. El funcionamiento de este mercado está soportado en la existencia de una bolsa de energía ('pool de generadores') donde se realizan intercambios comerciales definidos en el contexto de un mercado *spot* con resolución horaria y un operador central del sistema interconectado nacional denominado centro nacional de despacho (CND). Los agentes que participan en el mercado mayorista de electricidad son los generadores, comercializadores y transportadores.

#### **Modelo de competencia en el mercado minorista**

Los clientes tienen libertad de elección de la fuente de suministro, ya sea directa o indirectamente mediante comercializadores. Se garantiza el libre acceso a las redes de transporte y distribución. Se garantiza la entrada y salida

de generadores y comercializadores. Aumenta la complejidad del sistema dada la gran cantidad de acuerdos contractuales y la necesidad de garantizar la ecuación en cada instante de producción y demanda eléctrica. La medición y el mercado *spot* constituyen aspectos críticos del modelo. Los conceptos de política energética en esta estructura prácticamente desaparecen.

### **Consecuencias ambientales del modelo industrial del servicio de energía eléctrica**

El modelo industrial del sector eléctrico ha tenido consecuencias ambientales y socioeconómicas en cada una de las actividades de la cadena eléctrica, es decir, en las actividades de generación, transmisión y distribución.

Como se ha planteado, la energía eléctrica es fundamental para el desarrollo y para proporcionar muchos servicios esenciales que mejoren la condición humana. Sin embargo, el uso de esta forma de energía produce invariablemente una ruptura del equilibrio ambiental, provocando una reacción de la naturaleza que conlleva consecuencias adversas para el propio hombre (Secretaría de Energía de Argentina, 2004).

El protocolo de Kioto con la aplicación de los mecanismos de desarrollo limpio impulsa especialmente proyectos asociados con energías renovables, como hidroelectricidad, centrales eólicas y tratamiento de residuos sólidos urbanos con la posibilidad de que los países desarrollados puedan comprar reducciones de emisiones provenientes de proyectos ejecutados en países en desarrollo, y acreditarlas para cumplir con sus metas de reducción de emisiones de los gases de efecto invernadero (ONU, 1997).

En la cadena eléctrica, es conocido que la producción de electricidad es responsable de cerca de 1/3 del consumo mundial de energía primaria y las tendencias muestran que su participación podría crecer debido a que cerca de 2.000 millones de personas no tienen acceso al servicio de energía eléctrica (Goldemberg, 1999).

La generación hidráulica en gran escala genera impactos en el medio social, natural y en la salud humana; si bien a nivel global y nacional la sociedad ha recibido estos beneficios, a nivel local y regional generalmente las poblaciones afectadas han desmejorado su calidad de vida y se han incrementado enfermedades y han surgido nuevas.

En el caso de las centrales térmicas convencionales los principales impactos se localizan en los efluentes líquidos y en las emisiones gaseosas. Los residuos sólidos no son importantes y los ruidos de los equipos pueden tener impacto nocivo en las vecindades de la central. El impacto térmico existe debido al uso de grandes cantidades de agua para la refrigeración (Instituto de Economía Energética, 1995).

Los principales impactos ambientales y efectos socioeconómicos asociados con la construcción y operación de las centrales de generación, según fuente de energía, se presentan en la tabla 2.

**Tabla 2.** Impactos ambientales debido a la generación eléctrica

Componente principal	Impactos
Carbón	Contaminación del agua de superficie Trastorno y cambios en el uso de la tierra, destrucción de ecosistemas. Lixiviación de metales pesados Cambio climático global Acidificación de lagos y pérdida de comunidades por deposiciones ácidas Emisiones de partículas de SO <sub>2</sub> , NOX
Petróleo y gas	Polución en las zonas marinas y costeras Daños a estructuras, cambios en la tierra, degradación forestal Contaminación del agua Emisiones de gases de efecto invernadero
Hidroeléctricas	Destrucción de la tierra, cambios en el uso de la tierra, modificación de la sedimentación Destrucción del ecosistema y pérdida de especies Cambios en la calidad del agua y de la vida marina Desplazamiento de población
Nuclear	Polución en el agua y en la superficie (minería) Cambio en el uso de la tierra y destrucción del ecosistema Potencial contaminación marina y terrestre (accidentes)

Fuente: Instituto de Economía Energética (1995)

Los aspectos ambientales en líneas de transmisión han tenido una evolución reciente; solamente a partir de 1986, en la fase de diseño de líneas se identifican los factores ecológicos, culturales y socioeconómicos del corredor y su área de influencia que incidan en la construcción y operación en las líneas y la selección de una ruta de la línea que interfiera lo menos posible con los aspectos ambientales (Instituto de Economía Energética, 1995).

Los impactos negativos potenciales de la transmisión eléctrica se presentan en la tabla 3.

**Tabla 3.** Impactos ambientales en sistemas de transmisión eléctrica

Impactos negativos potenciales
Daños en la vegetación, pérdida del hábitat natural e invasión de especies exóticas Fragmentación y/o disturbio del hábitat natural Incremento de acceso a tierras silvestres Erosión y sedimentación de la tierra y alteraciones de patrones hidrológicos Pérdidas de uso de la tierra y reubicación de población

Fuente: Instituto de Economía Energética, 1995

A modo ilustrativo para observar la dinámica de la gestión ambiental en la industria eléctrica, según documento de ISA (2002) en el caso colombiano, se presentan las siguientes etapas:

- Hasta 1974 las centrales eléctricas y las líneas de transmisión no tuvieron en cuenta la variable ambiental.
- Durante el periodo 1974-1995, se puede hablar de una gestión ambiental con énfasis remedial, pero con resultados inadecuados. En el sector eléctrico se adelantaron actividades de reforestación, conservación de cuencas y mantenimiento de la calidad de agua de los ríos que alimentan los embalses. A finales de la década de los ochenta se incorporaron los aspectos ambientales en los planes de expansión de generación y transmisión de energía eléctrica.
- Con la expedición de la Constitución de 1991 y la Ley 99 la problemática ambiental adquirió una mayor relevancia y su gestión tomo un carácter más preventivo. Pero el modelo industrial no da respuesta a los retos ambientales, especialmente en materia de utilización de energías limpias. Sin embargo, los planes de expansión eléctrica han venido incorporando variables ambientales hasta convertirlos en criterios clave para la toma de decisiones, como aspectos ecológicos y socioeconómicos, análisis multiobjetivo, costos incrementales asociados con la reducción de CO<sub>2</sub>, cálculo de emisiones e impactos y costos de gestión.

## Hacia un modelo post industrial del sector eléctrico

### *Bases de la economía del hidrógeno*

Son varias las causas que están llevando a replantear el modelo incuestionable hace unos años de desarrollo industrial. Por ejemplo, se pone en primer plano del debate con respuestas ambiguas en cuanto a las reservas probadas de petróleo y gas, su concentración en zonas de alta inestabilidad política como son el Medio Oriente y las repúblicas de la antigua Unión Soviética y en qué momento tocarán techo, es decir, cuándo se alcanzará más de la mitad de las reservas recuperables estimadas de petróleo convencional o ligero que brota libremente del interior de la tierra. En contraste, el carbón cuenta con reservas probadas por cientos de años, pero entra en fuerte contradicción con los compromisos ambientales especialmente los adquiridos en el protocolo de Kioto que hacen inviable en el largo plazo continuar con un modelo basado en el petróleo y retornar a las épocas del carbón. En el caso del gas natural no hay puestas demasiadas expectativas como respuesta estratégica para atender los incrementos previstos en la producción de electricidad y con precios razonables. En las próximas

décadas no parece viable tener la suficiente cantidad de gas natural para cubrir la demanda de electricidad.

Frente a este reto estratégico, en el que se plantea que la era de los combustibles fósiles está llegando a su fin, la alternativa viable que remplazará al actual régimen energético es el hidrógeno. Este elemento se encuentra en forma abundante por todo el planeta, ya sea en el agua, en los combustibles fósiles, la biomasa y en los seres vivos con alta capacidad de liberación de energía, y su utilización masiva haría posible la reducción drástica de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Se espera que en los próximos años se fusione la revolución de la informática y las telecomunicaciones con la energía del hidrógeno.

Con un régimen energético de esta naturaleza se esperaría un proceso de descarbonización, es decir, la progresiva sustitución de los átomos de carbono por otros átomos de hidrógeno con cada nueva fuente de energía. La madera, principal fuente de energía durante la mayor parte de la historia de la humanidad, tiene la proporción más alta de carbono en relación con el hidrógeno, con diez átomos de carbono por cada átomo de hidrógeno. Entre los combustibles fósiles, el carbón posee alrededor de uno o dos átomos de carbono por uno de hidrógeno. El petróleo contiene un átomo de carbono por cada dos átomos de hidrógeno, mientras que el gas natural tiene un solo átomo de carbono por cada cuatro átomos de hidrógeno; cada fuente de energía contiene menos dióxido de carbono que su predecesora (Rifkin, 2002).

El hidrógeno, por no encontrarse en estado libre en la naturaleza, requiere un proceso de transformación previo; la electrólisis es el método típico para separarlo. Otro método alternativo que serviría para la transición energética hacia una verdadera economía del hidrógeno es el reformado de vapor (Wald, 2004).

### Nuevo triángulo estratégico del sector eléctrico

Orientarse a una economía del hidrógeno juega papel relevante en el cambio tecnológico que está mostrando que el tamaño medio de eficiencia de las unidades de generación seguirá disminuyendo y que la producción estará mucho más cerca del consumidor final y se integrará con otros desarrollos asociados con los sistemas distribuidos que se tornan particularmente interesantes cuando se relacionan con nuevas tecnologías que han reducidos los costos y las características de operación como las pilas de combustible, los aerogeneradores, paneles solares y el almacenamiento de energía a través del aire comprimido, entre otros, y que están siendo implementadas en un gran número de empre-

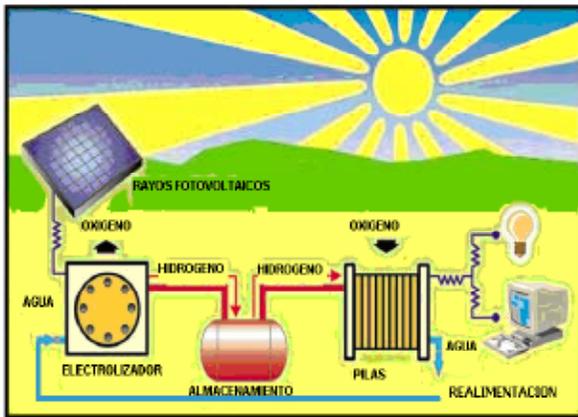
sas eléctricas; estos cambios marcarán la ruptura con el modelo de industria eléctrica tradicional (Pfeifenberger y otros, 1997).

En el nuevo sector eléctrico se pueden identificar tres vértices esenciales de un nuevo triángulo estratégico estrechamente relacionados, que superarían satisfactoriamente las exigencias del triángulo de transición energética: precio de la fuente de energía-eficiencia energética-protección del medio ambiente, y que configuran la economía del hidrógeno; son:

- El primer vértice son las pilas de combustible que puedan alimentarse con hidrógeno, lo que da la posibilidad que los usuarios dispongan de pequeñas plantas de energía propia y que contribuyan a fisurar el viejo modelo de la generación centralizada y jerarquizada, para dar paso a un modelo de generación distribuida.
- Otro vértice necesario son los sistemas distribuidos que lleven a una integración entre la producción y el consumo; en palabras de Toffler, surge el concepto de prosumidor. Cuando se habla de generación distribuida se refiere a un conjunto de pequeñas plantas generadoras de electricidad situadas cerca del usuario final y que pueden estar integradas a una red o bien funcionar de forma autónoma; implica la desaparición de las redes de alta tensión y el esquema de megacentrales centralizadas.
- Un vértice esencial son las fuentes renovables de energía, alternativa por excelencia para la diversificación de la canasta energética y de sostenibilidad ambiental. La utilización de las energías renovables en la economía del hidrógeno puede ser fuente directa de generación, transportada a través de pequeñas redes de distribución local, o fuente de energía indirecta para producir hidrógeno que es el combustible básico para alimentar las pilas de combustible.

Esto implica que las vulnerabilidades derivadas de las interdependencias en el suministro prácticamente desaparecerán y los retos en calidad del servicio superarán la simple continuidad del servicio y recogerán un concepto mucho más amplio que integre aspectos como la calidad de la onda eléctrica, compatibilidad electromagnética, aspectos no técnicos de la interacción de las redes con el consumidor, entre otros (Bollen, 2003).

En la figura 2 se presenta la alternativa futura de la economía del hidrógeno que integra el nuevo triángulo estratégico: energía fotovoltaica-pilas de combustible alimentadas por hidrógeno-sistema distribuido para el suministro de la energía eléctrica.



**Figura 2.** Suministro de energía eléctrica basado en una economía del hidrógeno

Fuente: Comisión Europea de Energía

### **Implicaciones estratégicas y organizativas en la empresa eléctrica**

Estos cambios estratégicos o fundamentales que están alterando significativamente el entorno y dintorno de las empresas eléctricas, hacen que obligatoriamente los retos estratégicos de supervivencia y de éxito no sean congruentes con las estructuras organizativas tradicionales, que son demasiado inflexibles y burocráticas. Las compañías eléctricas, que tradicionalmente tenían asegurados los ingresos y las tasas de retorno y ejercían poder de mercado mediante el efecto tamaño y altas concentraciones de los mercados, perderán esos privilegios y tendrán que sustituir las ventajas regulatorias por la búsqueda de ventajas competitivas sostenibles y difíciles de imitar.

La meta de lograr ventajas competitivas sostenibles y difíciles de imitar se logra mediante la dirección estratégica, es decir, asumir el reto de “hacer que las cosas sucedan”, como respuesta a entornos discontinuos, impredecibles y sorpresivos, derivado especialmente de las innovaciones, integración de producción y consumo y replanteamiento del papel de la empresa eléctrica. Es necesario armonizar la eficiencia general con la creación y mantenimiento de ventajas competitivas, es decir, el cuerpo (organización flexible y de rápida respuesta) se integra con el cerebro (dirección estratégica) para alcanzar el éxito (Prahalad y Hamel, 1994).

La máquina única en la organización, en la economía del sector eléctrico y en el funcionamiento técnico se agota y exige:

- Nuevos diseños de estructuras organizativas que rompan con los modelos burocráticos normalizadores y

funcionales, y que nada tienen que ver con los organigramas tradicionales que se conocen. Las nuevas formas de organización que dan prioridad a la flexibilidad se relacionan con el cambio cultural en cuanto a que las personas deben aprender a vivir con el cambio y perder su aversión al riesgo (Morcillo 1997).

- Nuevos estilos de dirección que tengan altos grados de integración organizativa de origen sistémico y manejo de altos volúmenes de información, en que el tiempo constituye una variable crítica (Toffler, 1980).
- Los factores críticos de éxito en esta nueva era de negocios son la confianza, la lealtad y el poder de las relaciones. En la era posindustrial predominan los rendimientos crecientes, la observación, el posicionamiento, las organizaciones planas, las misiones, los equipos y la astucia, es decir, es un mundo de sicología, de cognición y de adaptación (Hope, 1998).

### **Periodo de transición energética**

Siguiendo a la European Commission (2004:1), en la transición se reconoce que en un futuro cercano los combustibles fósiles seguirán predominando, por lo que se pretende buscar soluciones rentables combinadas con tecnologías limpias que impliquen cero emisiones. Una de las respuestas investigativas es la captura y el secuestro de CO<sub>2</sub>, especialmente en las centrales de energía basadas en combustibles fósiles. Así mismo, en un periodo de transición en el cual se vaya consolidando la economía del hidrógeno para incorporar un verdadero concepto de energía sustentable, es probable que el hidrógeno sea producido principalmente mediante combustibles fósiles.

En la transición energética las principales tecnologías de generación de energía eléctrica que predominarán y están enmarcadas en el paradigma de grandes sistemas eléctricos centralizados son las basadas en combustión de lecho fluido presurizado con eficiencias entre 34% y 40%, las de gasificación en un ciclo combinado con rendimientos entre 50% y 58%, donde las economías de escala, si bien no están agotadas no se prevé que experimenten los incrementos espectaculares del pasado (Pfeifenberger, 1997; Álvarez, 1997).

### **Conclusiones**

El suministro de energía eléctrica es un servicio público cuya regulación históricamente ha adoptado formas diferentes, desde la intervención directa del Estado, sociedades de economía mixta y comisiones reguladoras.

El modelo industrial del servicio de energía eléctrica ha visto el final de la competencia entre dos alternativas técnicas, como consecuencia de la adopción de la corriente al-

terna sobre la continua, el transporte de la energía eléctrica a grandes distancias y la constitución del sistema eléctrico como un servicio público y las altas interdependencias que incrementan la vulnerabilidad en el suministro eléctrico.

La industria eléctrica actual en sus decisiones de inversión ha estado soportada en la minimización del costo de capital, cuyo vínculo directo es el factor de carga a través del análisis concienzudo del factor de diversidad y el *mix* económico entre fuentes de energía, especialmente las relacionadas con el agua y los combustibles fósiles.

Así mismo, la liberalización de los mercados, la globalización, la necesidad de proteger el medio ambiente y el cambio tecnológico han llevado a transformaciones importantes en esta industria, pasando de organizaciones integradas verticalmente a la búsqueda de una intensa competencia en el mercado minorista en que el consumidor tenga libertad de elección de la fuente de suministro, y la viabilidad de estos mercados contestables se encuentra en una fuerte regulación pública que lleve a una competencia factible.

El sector eléctrico ha estado circunscrito en los rasgos esenciales de la era industrial y las fuentes de energía básicas utilizadas para su producción son combustibles fósiles y fuentes hídricas que vienen en creciente agotamiento. Frente a este reto estratégico, en que se plantea que la era de los combustibles fósiles está llegando a su fin, la alternativa viable que remplazará al actual régimen energético es el hidrógeno.

Orientarse a una economía del hidrógeno y ruptura con la industria eléctrica tradicional es impulsar cambios tecnológicos asociados con los sistemas distribuidos que se tornan particularmente interesantes cuando se relacionan con nuevas tecnologías que han reducidos los costos y las características de operación, como las pilas de combustible, los aerogeneradores, paneles solares y el almacenamiento de energía a través del aire comprimido, entre otros.

Estos cambios fundamentales, que están alterando significativamente el entorno y el dintorno de las empresas eléctricas, hacen que obligatoriamente los retos estratégicos de supervivencia y de éxito no se basen en la obtención de las ventajas regulatorias tradicionales sino en la búsqueda de ventajas competitivas sostenibles y difíciles de imitar.

## Bibliografía

Álvarez, Pellegrin E. (1997). *Economía industrial del sector eléctrico: estructura y regulación*. Madrid, España, Editorial Civitas.

Altomonte, H. et al. (2003). *Energías renovables y eficien-*

*cia energética en América Latina y el Caribe. Restricciones y perspectivas*. Serie Recursos naturales e infraestructura. Cepal.

Ansoff, H. y McDonnell, E. (1997). *La dirección estratégica en la práctica empresarial*. Estados Unidos, Editorial Addison-Wesley Iberoamericana S.A.

Bell, D. (1976). *El advenimiento de la sociedad post-industrial*. Madrid, España, Editorial Alianza.

Bollen, M. H. J. (2003). "What is power quality?" *Electric Power Systems Research*, 66, 5-14.

Boot, P., Brinkhoff, J. y Roukens, B. (2003). *European Energy Markets: Challenges for Policy and Research*. Research Symposium European Electricity Markets. The Hague, Netherlands, September.

Chao, H. y Siddiqi, R. (1993). "Why service differentiation? Why now?" En: *Service opportunities for electric utilities: Creating differentiated products*. Boston, De Kluwer Academic Publishers, pp. 1-6.

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (1998). *Resolución CREG 070/98*, por la cual se establece el reglamento de distribución de energía eléctrica, como parte del reglamento de operación del sistema interconectado nacional. Bogotá, Colombia.

De la Pedraja, R. (1993). *Petróleo, electricidad, carbón y política en Colombia*. Bogotá, El Áncora Editores.

Drucker, P. F. (1994). *La sociedad post-capitalista*. Bogotá, Grupo Editorial Norma.

European Commission. (2003). *European fuel cell and hydrogen projects*. EUR 20718. Belgium.

European Commission. (2004). *European CO2 capture and storage projects*. EUR 21240. Belgium.

Ferguson, R., Wilkinson, W. y Hill, R. (2000). "Electricity use and economic development". *Revista Energy Policy*, 28, 923-934.

Goldemberg, J. (1999). *Energy, Environment and Development*. Reino Unido, Earthscan Publications Ltd.

Hartley, P. (1998). *Reform the Electricity Supply Industry*. Rice University, Houston, paper presented at the Seminar on the economics of regulation, Mexico City. August 1998.

Hidalgo, N. A. (1993). "Monopolio versus competencia en los sistemas eléctricos". *Revista Información Comercial Española*, No. 722, octubre, Madrid, España.

Hope, J. y Hope, T. (1998). *Competir en la tercera ola*, 1ª ed. en español. Barcelona, España, Gestión 2000 S. A.

- Hunt, S. y Shuttleworth, G. (1996). *Competition and Choice in Electricity*. England, John Wiley & Sons Ltd.
- Instituto de Economía Energética. (1995). *Introducción a los impactos socio-ambientales de la cadena eléctrica*. San Carlos de Bariloche, Argentina, Fundación Bariloche.
- ISA. (2002). *El sector eléctrico colombiano: orígenes, evolución y retos, 1882-1999*. Bogotá, Panamericana Formas e Impresos S. A.
- Joskow, P. (1997). "Restructuring, competition and regulatory reform in the U. S. electricity sector". *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 11, No. 3 de 1997.
- Kahn, E. (1990). *The Economics of Regulation. Principles and Institutions*. USA, The MIT Press.
- Lamont, J. y Sheblé, G. (1996). "Aspectos económicos de la generación de energía eléctrica a gran escala". En: *Manual de ingeniería eléctrica*, 13ª ed., II, sección 12. México, pp. 1-22.
- Latimer, J. et al. (1996). "Operación de sistemas de energía eléctrica". En: *Manual de ingeniería eléctrica*, 13ª ed., III, sección 16, México, pp. 1-40.
- Martinez, A. y Gonzalez, T. (2000). *Economía política de la globalización*. Barcelona, España, Editorial Ariel S. A.
- Morcillo, P. O. (1997). *Dirección estratégica de la tecnología e innovación. Un enfoque de competencias*. Madrid, España, Editorial Civitas.
- Ocaña, C. (2002). Regulatory reform in the electricity supply industry: an overview. En: paper IEA, September 2002.
- Oren, S. y Smith, S. (1993). *Service Opportunities for Electric Utilities: Creating Differentiated Products*. Boston, Kluwer Academic Publishers.
- Organización de las Naciones Unidas. (1997). Protocolo de Kioto de la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático.
- Pérez Arriaga, J. I. (1995). "La regulación del sector de energía eléctrica: tendencias en un contexto internacional". *Revista de Economía Industrial*, No. 302. España.
- Pfeifenberger, J., Hanser, P. y Ammann, P. (1997). "What's in the cards for distributed resources?" *The Energy Journal*, special issue, International Association for Energy Economics, pp. 1-17.
- Prahalad y Hamel. (1994). "La estrategia como campo de estudio: ¿por qué buscar un nuevo paradigma?" *Strategic Management Journal*. Vol. 15, pp. 5-16.
- Raymond, H. A. (1986). *Administración en la tercera ola. Los contornos competitivos*. México, Compañía Editorial Continental S. A.
- Reboloso, G. R. (2000). *La globalización y las nuevas tecnologías de información*. México, Editorial Trillas.
- Rifkin, J. (2002). *La economía del hidrógeno*. España, Editorial Paidós.
- Sanclemente, C. (1993). *Desarrollo y crisis del sector eléctrico colombiano 1890-1993*. Bogotá, Empresa Editorial Universidad Nacional.
- Secretaría de Energía de la Argentina. (2004). *Descripción, desarrollo y perspectivas de las energías renovables en la Argentina y en el mundo*. Argentina.
- Toffler, A. (1980). *La tercera ola*. Vols. I y II. Barcelona, España, Ediciones Orbis S. A.
- Torres, H. et al. (2004). *Energía eléctrica, un producto con calidad*. CEL, Bogotá, Icontec.
- Wald, M. (2004). "En torno a una economía del hidrógeno". *Investigación y Ciencia*, España, julio, pp. 23-29.