

Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación CTS+I

Palacio de Minería del 19 al 23 de Junio de 2006

El cambio tecnológico en los sistemas energéticos

ÁNGEL EDUARDO FLORES ROMERO

MESA 6



Se tiene por objetivo presentar una radiografía del cambio tecnológico experimentado por los sistemas energéticos empleados por la sociedad, desde la Revolución Industrial hasta nuestros días. Así como identificar las posibilidades tecnológicas que se dispondrán en relación a los sistemas energéticos en las próximas décadas.

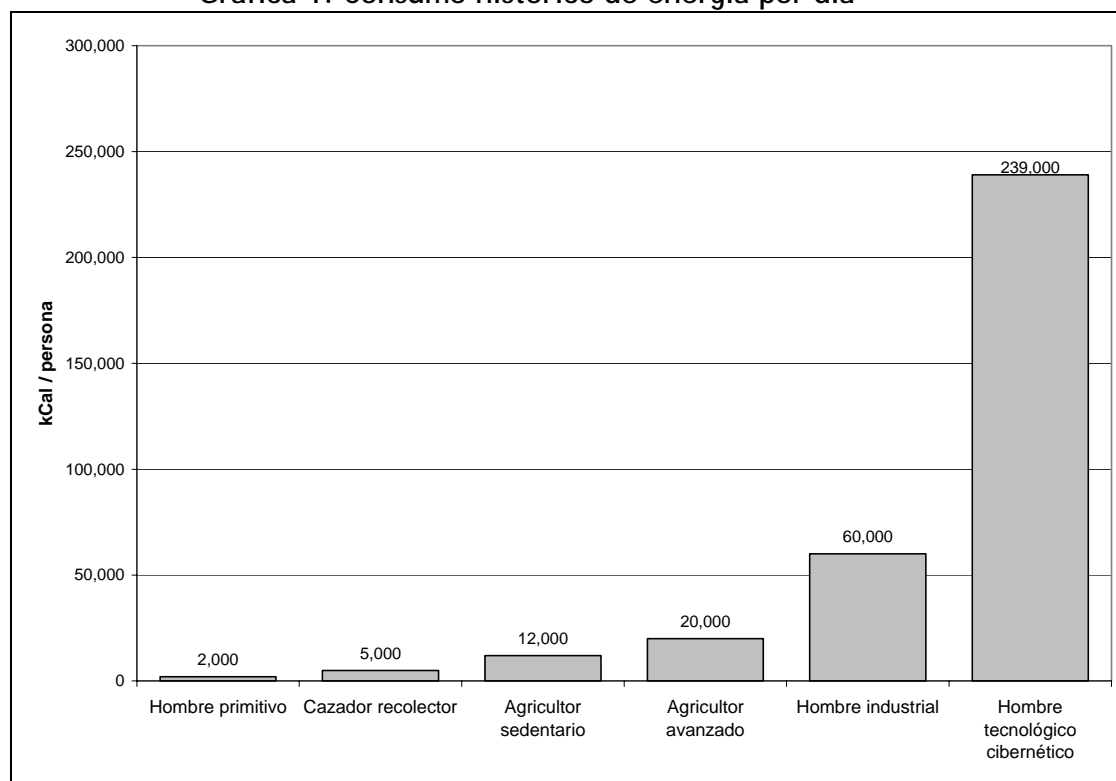
1. Antecedentes

Una de las principales innovaciones radicales experimentadas por el hombre sobre la faz de la Tierra es el uso del fuego. Para el hombre primitivo su principal fuente de energía era la leña, a lo largo de la evolución histórica del hombre, se ha venido ampliando los requerimientos energéticos y con ello el número de fuentes, maneras y tecnologías tanto para obtener como para generar energía útil.

Así, Alponete (2003) nos hace saber como hace un millón de años la producción de energía, gravitaba sobre la potencia de los músculos. Se estima que sólo los músculos generaban, entonces, aproximadamente 2,000 kilocalorías. Hace 9000 años, en el seno de una revolución que establecería el primer piso inteligente para crear las condiciones de una sociedad sedentaria y no nómada (Mesopotamia, hoy Irak) el producto de la energía humana se estimó entre 4,000 y 5,000 kilocalorías. Quinientos años después de Cristo el ingenio humano hizo posible que el hombre generara 12,000 kilocalorías por persona. Se alcanzaron las 26,000 kilocalorías hacia el año 1400. En 1870, 150 años después del inicio de la Revolución Industrial la producción humana se calculó en 70,000 kilocalorías per cápita y en los años setenta-ochenta del siglo XX, en el seno de la Revolución Tecnológica, se ascendía, a 230,000 kilocalorías.

Como lo señala García (1998), en una era caracterizada por enormes desigualdades en la distribución de la riqueza y por una acelerada e intensiva industrialización, basada en la irracional explotación de combustibles fósiles, el Hombre tecnológico-cibernético de países altamente industrializados, para satisfacer todas sus necesidades energéticas, consume en promedio más de un millón de Joules por persona al día (aproximadamente 239,000 Kcal.). Esto significa que el consumo de energía se ha incrementado exponencialmente hasta alcanzar valores 120 veces mayores que los utilizados durante las primeras manifestaciones del Hombre en el planeta.

Gráfica 1. Consumo histórico de energía por día



Fuente: Elaborado con base en datos de García, J. (1998)

Como se puede apreciar en la gráfica, el hombre ha hecho uso de la energía en cada vez mayores cantidades, aquí cabe preguntarse ¿Por qué este incremento en el uso de la energía? La respuesta podría ser trivial argumentando que los requerimientos energéticos del hombre fueron incrementando conforme el progreso tecnológico. Sin embargo ¿Será correcto afirmar que dicho progreso demanda un creciente uso de energía o bien el incremento en el uso de mayor cantidad de energía ha hecho posible el grado de desarrollo tecnológico en el cual nos encontramos?

2. Bosquejo histórico

Desde el Hombre primitivo y hasta antes del Hombre industrial, las fuentes de energía empleadas por las sociedades eran meramente fuentes renovables como las corrientes de agua para desplazarse en embarcaciones a cortas distancias, la madera para cocción de alimentos principalmente, el viento utilizado en los molinos de granos, y la fuerza de los animales para la siembra, el cultivo y el transporte.

Para la última mitad del siglo XVIII se comenzó con el uso masivo del carbón para alimentar a la insipiente maquinaria que hizo posible la Revolución Industrial. El carbón fue el energético por excelencia que se utilizaba en la Europa que recién estrenaba las máquinas de vapor que permitieron un gran cambio a nivel social, productivo y organizacional.

Sin embargo, para fines del siglo XIX se comienza a dar uso a un energético que por sus características presenta muchas más ventajas que el carbón, puesto que es más fácil de almacenar y transportar, el petróleo.

El descubrimiento de importantes yacimientos de petróleo permitió la introducción de este energético en el mercado y rápidamente se hizo popular entre la sociedad industrializada. Uno de los detonantes que propician el uso intensivo del petróleo es sin duda la industria automotriz que permitió el desplazamiento de las personas y las mercancías en menores tiempos.

Ramírez (2000) argumenta que a partir de 1882, año en que Tomás Alba Edison pone en marcha el "Peral Street", primer sistema eléctrico en el mundo, se han desarrollado un sinnúmero de tecnologías y desarrollos científicos en los cuales la energía eléctrica tiene un papel importante. Desde las bombillas incandescentes que permitieron revolucionar todo un comportamiento y forma de hacer las cosas de una sociedad, haciendo uso de la iluminación artificial y ganándole horas de actividad a la oscuridad de la noche; pasando por los motores de corriente directa que permitieron movilizar a una mayor velocidad las incipientes maquinarias de las nascentes industrias; sin olvidarse de la capacidad de movilizar gente y mercancías más rápidamente de lo que lo podía hacer la fuerza de los animales de tiro o el propio ser humano; hasta llegar actualmente a permitirnos mandar y recibir información y datos mediante una computadora; todo esto es posible gracias a la evolución de la tecnología relacionada con la energía eléctrica.

Si bien la energía eléctrica no es una fuente primaria de energía, la generación de la misma requiere del uso de una fuente primaria que a lo largo de la historia han sido principalmente la hidráulica, el carbón y el petróleo. Ramírez (2000) afirma que la electricidad es el ejemplo clásico de los desarrollos "científicos" dentro de los "inventos y desarrollos tecnológicos" que han impactado y modificado el comportamiento de las sociedades, y cuyo uso intensivo representó un salto cualitativo y cuantitativo en el nivel de vida.

Dada la demanda de energía eléctrica que existía ya hacia mediados del siglo XX y con los conocimientos y bases científicas requeridas, fue posible poner en operación el primer reactor nuclear de fisión que permitía producir energía eléctrica a costos competitivos con las tecnologías convencionalmente empleadas.

Hacia 1965 se emplea el gas natural como un recurso alternativo al petróleo debido a que la producción de crudo en Estados Unidos estaba por tocar techo¹, lo cual obligó a dar un giro hacia el uso del gas natural. Sin embargo la adopción del gas natural como una alternativa para reemplazar al petróleo es únicamente una solución temporal ya que los estudios indican que las reservas de gas natural no son lo suficientemente grandes para prolongar su uso más allá de unas cuantas décadas.

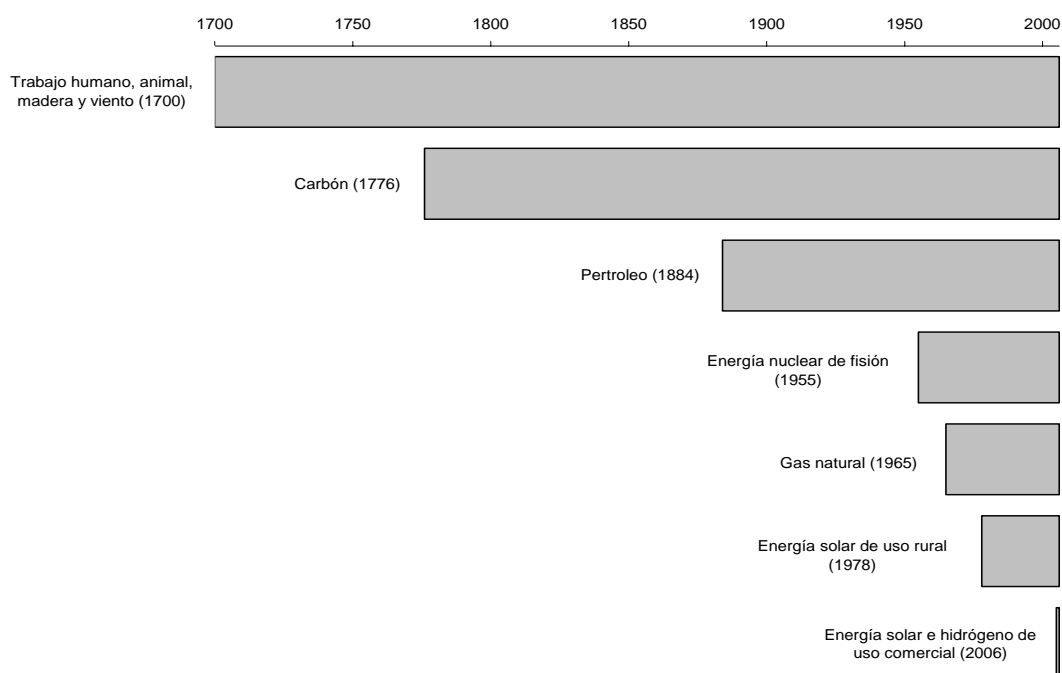
Para el último cuarto del siglo XX se logró realizar una serie de avances y desarrollos tecnológicos que permitieron implementar a la energía solar como una alternativa tecnológicamente viable para la generación de energía eléctrica en pequeña escala y para el calentamiento a partir de la energía del sol. Sin embargo, este tipo de tecnologías aun se encuentra en desventaja económica comparada con las tecnologías convencionales.

¹ El término "tocar techo" se refiere al hecho de llegar a la explotación de la mitad de las reservas recuperables estimadas de petróleo.

Estrada y Álvarez (1998) pronosticaban que para el 2006 el hidrógeno llegaría a ser de uso comercial. Cano (2003) nos indica que las propiedades del hidrógeno han sido exploradas y empleadas desde hace muchos años, pero que la llegada del petróleo hizo a un lado por varias razones que hoy lamentamos. Desafortunadamente, el hidrógeno posee la desventaja de no existir en forma natural, sino que tiene que ser separado de las fuentes que lo contienen (por ejemplo del agua o del gas natural), procedimiento que requiere del uso de energía primaria.

En la siguiente gráfica se presenta el esquema del comienzo del uso masivo de los energéticos, donde el uso de la energía solar y del hidrógeno de uso comercial se asocia con una fecha estimada.

Gráfica 2. Fecha de Inicio del Uso Masivo de las Diversas Fuentes de Energía



Fuente: Estrada, C. y Álvarez, G. (1998)

3. Fuentes de energía y cambio tecnológico

3.1. De las primeras fuentes de energía al uso del carbón

El uso de lo que hoy en día se ha llamado fuentes renovables de energía, no es algo nuevo, de hecho estas fueron las primeras fuentes de energía empleadas por el hombre. Estrada y Álvarez (1998) nos dicen que desde que el hombre apareció en la tierra hasta el comienzo de la industrialización en Europa, la radiación solar, el viento, el agua de los ríos, así como la madera (biomasa) como combustible, fueron las primeras fuentes de energía en ser utilizadas

Desde que se emplea el fuego para la cocción de alimentos, la leña fue el principal combustible; para mover las embarcaciones de los pueblos comerciantes se empleaba el viento como fuente motriz; para mover los molinos de la antigüedad se aprovechaba la fuerza del viento y las corrientes de agua; en fin, se podrían listar una gran cantidad de ejemplos que ilustran esta realidad.

No obstante, estas fuentes primitivas de energía poco a poco fueron sustituidas por fuentes más convenientes desde el punto de vista de la calidad y cantidad de energía que se requería sobre todo a partir de la Revolución Industrial. Huacuz (2000) indica que la máquina de vapor fue sustituyendo a la vela de los barcos y a los molinos de viento, así como el carbón mineral sustituyó a la leña.

Derry y Williams (1977) afirman que durante el siglo XVII aumentó la demanda de carbón de leña por parte de las industrias de jabón, vidrio y cerveza, así como para las metalúrgicas a tal grado que resultó alarmante la deforestación de los bosques ingleses por lo que existió una constante presión a sustituir el carbón de leña por coque (carbón mineral) siempre que ello fuese posible.

A raíz de esta situación surge la necesidad de incrementar la producción de carbón mineral para suplir el carbón vegetal que se demandaba para satisfacer los crecientes requerimientos industriales y de urbanización requeridos para su funcionamiento.

Sin embargo, la situación no era tan sencilla como aparenta ser. En primera instancia, la obtención de coque es un proceso mucho más laborioso que la obtención del carbón de leña, mientras que para este último basta con cortar árboles y quemar parcialmente la leña, para el segundo se requiere un proceso de extracción del subsuelo a profundidades cada vez mayores y ambientes altamente tóxicos para los mineros.

En las minas de carbón se presentan principalmente dos problemas: el agua dentro de las minas y la atmósfera de gas altamente explosiva. Estos problemas encontraron solución en aquella época gracias a las innovaciones tecnológicas principalmente incrementales. El gas presente en la atmósfera interna de la mina, se hacía explotar mediante un bombero que era un hombre protegido con un traje de cuero que llevaba una vela encendida la cual hacía estallar el gas y de esta manera se eliminaba momentáneamente el gas explosivo presente dentro de la mina. En algunas otras minas de Inglaterra se utilizaba en lugar de bombero, un bracero que servía como evaporador de gas el cual estaba introducido en uno de los dos ductos perforados en la mina mientras por el ducto restante se introducía aire nuevo para eliminar la atmósfera viciada.

El problema de la atmósfera altamente explosiva no permitía la introducción de velas para iluminar la mina ya que resultaba sumamente peligroso, por lo que los mineros tenían que trabajar prácticamente a oscuras hasta que en las minas de Cumberland y Tyneside se realizó un invento denominado el molino de hierro que Ashton (1950) lo describe como una rueda dentada que se hacía girar contra un pedernal produciendo una chispa que producía una iluminación primitiva pero muy útil. Sin embargo esto no era garantía de librar los accidentes con este tipo de atmósferas. A pesar de que esta inventiva no pudo ser trasladada a otro tipo de industria, al propio sector del carbón desarrolló un logro importante al poder tener iluminada la mina y eliminar la atmósfera tóxica, permitiendo tener un mayor rendimiento en la producción de carbón.

En segunda instancia, se presenta el problema de la inundación de las minas por la infiltración de agua, por lo que era necesario eliminar el agua del interior de las minas para poder seguir explotando el mineral. En el caso del desagüe de las minas, el problema era más difícil de resolver puesto que el agua no se puede eliminar de forma sencilla como lo fue el gas explosivo del ambiente.

En un principio el agua era extraída con métodos manuales, es decir se acarrea el agua en recipientes que se pasaban de mano en mano o en el lomo de animales cuando esto era posible. Ya que esto representaba el emplear mucho más gente de la que en realidad producía, esto se convirtió en un incentivo para desarrollar métodos alternativos para el desagüe de las minas.

Derry y Williams (1977) describen como en 1698 Thomas Savery retoma los conocimientos básicos de termodinámica y realiza la máquina atmosférica de vapor para el desagüe de las minas, esto marca la pauta para que posteriormente se presenten grandes mejoras y adaptaciones en la máquina de Savery. Hacia 1708 Thomas Newcomen hace modificaciones al diseño de Savery dichas modificaciones fueron bien vistas durante varias décadas, hasta que en 1763 James Watt hace algunas adecuaciones significativas a la máquina de Newcomen que permiten ahorrar hasta el 50% del vapor que utiliza dicha máquina.

Una de las primeras mejoras incrementales realizadas por Watt a la máquina de vapor fue la separación de la inyección de vapor y la condensación que trajo consigo el que la máquina posea doble efecto o dirección, lo que dio un carácter práctico a la máquina rotatoria, que se adoptó rápidamente para diversos usos dentro de la industria.

Otra de las innovaciones que surgieron a raíz de la sustitución de carbón de leña por coque se dio en la industria del hierro, donde no se estaba acostumbrado a tener las impurezas que trae consigo el empleo del coque (compuestos sulfúricos y fosfóricos), indeseables en la fundición del hierro porque lo estropean.

En la industria del hierro, el vapor tuvo una gran importancia para el desarrollo de diversas tareas en el proceso de producción. La máquina de vapor servía para elevar el agua requerida para mover la rueda de los fuelles, martillos de agua y laminadoras teniendo importantes efectos sobre la producción.

Derry y Williams (1977) mencionan como la máquina rotatoria de Watt revolucionó a la industria pesada ya que era capaz de levantar martillos de gran peso a alturas necesarias (300 kilogramos de peso y 60 centímetros de altura) para poder laminar el hierro. En 1783 se crea la primera máquina rotatoria de vapor que impulsaba un martillo en la industria del hierro y a partir de aquí, la máquina de vapor vino a sustituir la fuerza de los músculos de varios trabajadores a la vez realizando las actividades pesadas en mucho menos tiempo y con mayor precisión.

La máquina de vapor fue todo un éxito y su demanda se vio incrementada rápidamente, por lo que fue necesario construir calderas en cantidades importantes que en un principio fueron elaboradas en cobre y posteriormente sustituidas por hierro. Al tener la posibilidad de hacer el laminado del hierro más eficiente y en menos tiempo, se pudo tener material laminado necesario para fabricar las calderas de las máquinas de vapor que coadyuvaron al desarrollo de otras industrias inglesas como la textil.

En 1785, la necesidad de grandes cantidades de agua para mover a la industria textil, orilló a la introducción de la máquina de vapor de James Watt, que representó una novedosa forma de trabajo que permitía ocupar menores cantidades de agua en su proceso. El uso de la máquina de vapor por las hiladoras, se proliferó rápidamente para dar paso a las fábricas concentradas en el corazón de las urbes utilizando vapor como fuente motriz en lugar de las herramientas hidráulicas de los talleres textiles.

Con el uso del hierro en lugar del cobre como elemento principal para fabricar las calderas de las máquinas de vapor, se pudo hacer que el vapor generado dentro de la caldera, se produjera a una presión mayor de la que normalmente se podía obtener. Al elevar la presión del vapor generado a 3.5 kg/cm^2 por encima de la presión atmosférica, se pudo hacer un mejor uso de la energía y en conjunto con la doble acción de la máquina de Watt, es posible coadyuvar a la movilización de maquinaria más pesada.

Esta innovación fue aprovechada principalmente por la industria del transporte que requería de grandes cantidades de energía para el arrastre de las varias toneladas de peso del mismo vehículo. Siendo ésta una de las industrias más beneficiadas y beneficiosas a la industrialización, puesto que las locomotoras jugaron un papel primordial en el transporte de mercancías y personas.

La sociedad de fines del siglo XVII y principios del XVIII se enfrentó a un proceso de transición tecnológica donde la coexistencia y dependencia de tecnologías para el desarrollo de industrias específicas, condujo de manera fehaciente a un nuevo régimen donde el paradigma tecno-económico dominante se basaba en el uso intensivo del carbón.

3.2. Del Carbón al Petróleo

Huacuz (2000) hace notar que para inicios del siglo XX la máquina de vapor fue sustituida por la máquina de combustión interna; mientras que el carbón mineral fue desplazado por el petróleo y sus derivados, que actualmente constituyen el eje central del suministro energético en el mundo.

Aun cuando los principios de la termodinámica se encontraban en un proceso de maduración, la máquina de combustión interna ya se podía utilizar en la última mitad del siglo XIX. Según Derry y Williams (1977), es un inventor austriaco llamado Siegfried Markus quien montó un motor de combustión interna sobre un carro de mano hacia el año 1864. Este vehículo es un objeto pesado, tosco, con un motor de cuatro tiempos monocilíndrico, capaz de alcanzar sólo ocho kilómetros por hora de velocidad máxima.

Mohedano (2003) nos dice como al cabo de unos años de haberse inventado el ferrocarril, algunas personas se percataron de las ventajas que podría proporcionar la incorporación de una caldera de combustión a los vetustos coches de caballos. Pero, claro, cargar con kilos de carbón sólo estaba al alcance de vehículos de gran envergadura como es el caso de una locomotora, así que fue necesario recurrir al petróleo para mover los vehículos utilitarios.

El empleo del petróleo como fuente de energía primaria se vuelve muy popular debido a las convenientes características que presenta éste sobre su antecesor, el carbón. El petróleo es más fácil de transportar y no genera residuos sólidos. En 1859 Edwin Drake perforó el primer pozo de petróleo en Pensilvania, quedándose ésta como la fecha del “descubrimiento” del petróleo.

El empleo del petróleo se difunde rápidamente gracias a la necesidad que la sociedad tenía de movilizar sus materias primas a los centros industriales y a las fábricas, así como el mover los productos industriales hacia los puntos de consumo ya sea en la propia región o en regiones más apartadas. Si bien es cierto que el carbón se emplea de manera masiva en el transporte férreo por todas las regiones industrializadas y centros urbanos, las necesidades de transportes más compactos desembocaron en innovaciones que revolucionaron la incipiente fabricación de autos en aquella época.

Aunado a ello, el descubrimiento de importantes yacimientos petrolíferos, sobre todo en los Estados Unidos, permitió que muy pronto se desarrollara la industria de automóviles que demandaban una cantidad muy grande de combustible para poder moverse.

El automóvil trajo consigo una serie de necesidades que promovieron innovaciones que acentúan aun más los cambios tecnológicos, sociales, económicos, culturales y políticos que la Revolución Industrial ya había comenzado a generar cien años antes.

El uso del petróleo a principios del siglo XX encontró un nuevo nicho de mercado que igualmente le otorgó una importancia relativa en una sociedad ya industrializada. El uso de la energía eléctrica se fue haciendo muy popular en el ámbito industrial y en las urbes más importantes.

La energía eléctrica permitió una mayor proliferación de las industrias, mayores rendimientos al poder aprovechar más horas del día en las labores fabriles gracias a la iluminación artificial, se generó una oleada de innovaciones radicales (surgimiento de artefactos tales como la bombilla eléctrica) e incrementales (como mejoras y adaptaciones en herramientas eléctricas utilizadas en la industria) alrededor del uso de la energía eléctrica que hacía mucho más cómoda la vida, se desarrolló la industria gracias al surgimiento de especies tecnológicas que empleaban la energía eléctrica como fuente motriz y con ello se incrementa la demanda de generadores de energía eléctrica que requerían de una fuente primaria de energía para poder transformarla en la energía eléctrica que ahora demandaba la sociedad industrializada y concentrada en grandes urbes.

Las innovaciones que dieron pie a la revolución industrial se fueron acumulando e incrementando de tal forma que describieron una trayectoria tecnológica en torno al carbón y posteriormente al petróleo, lo cual fue cegando a otras posibilidades tecnológicas que permitieron el reinado de estos energéticos en sus respectivas épocas.

El bagaje de conocimiento acumulado a lo largo de la trayectoria tecnológica, sirve de base para que las siguientes innovaciones dentro de la trayectoria tecnológica puedan desarrollarse sobre bases ya probadas y que le dan un importante grado de irreversibilidad al proceso de cambio tecnológico.

4. A modo de conclusión

Revisando la historia de las tecnologías alrededor del sistema energético, se puede identificar la existencia de un proceso crucial y de gran importancia para la reconfiguración de elementos y actores a lo largo y ancho de todo el régimen energético, que podemos etiquetar como transiciones, las cuales han podido desembocar en la trayectoria tecnológica² presente en la historia del sistema energético mundial.

Actualmente nos encontramos inmersos en un mundo y economía del petróleo, todo aquel artefacto o máquina que se mueve, muy probablemente, lo hace a partir de energía generada por petróleo. Y todos los estudios realizados alrededor de las reservas de petróleo, si bien no coinciden con una fecha definitiva, si coinciden en el cercano fin de la era del petróleo. Entonces cabe preguntarse ¿Cuál será la tecnología que predomine una vez que el imperio de los hidrocarburos llegue a su fin?

Mucho se ha especulado en la posibilidad de contar con un régimen tecnológico donde predomine el uso de fuentes de energía limpias, sustentables, económicamente competitivas y que garanticen el progreso industrial y el bienestar social y económico. La pregunta que queda por responder en las próximas décadas es ¿Cuál será el rumbo a seguir ante un inminente cambio tecnológico que nos conduzca a un sistema energético diferente al del uso intensivo del petróleo?

² Refiriéndonos al concepto de trayectoria tecnológica a partir de un cambio tecno-económico como lo concibe Carlota Pérez quien hace notar que el cambio de paradigma tecno-económico es una transformación del patrón tecnológico y organizativo, más aún, es un cambio de sentido común en lo que respecta a las prácticas más eficientes tanto en la producción como en las demás actividades sociales.

La respuesta no es sencilla ya que actualmente existe todo un debate en cual será la tecnología que cumpla con los requisitos antes mencionados. Por un lado se cuenta con las tecnologías relacionadas con las Fuentes Renovables de Energía (FRE) que son un conjunto de tecnologías probadas y técnicamente viables para suplir al petróleo, pero aun con la desventaja económica.

Dentro de las tecnologías relacionadas con fuentes renovables de energía se encuentran: la energía solar (módulos fotovoltaicos para generación eléctrica y plantas termo-solares), energía eólica (aerogeneradores), caídas de agua (micro turbinas hidroeléctricas), biogás (biodigestores) y el hidrógeno (electrolizadores y celdas de combustible).

Por otro lado se encuentran las tecnologías relacionadas con la energía nuclear, las cuales han probado su factibilidad técnica y económica. Empero la tecnología nuclear es altamente intensiva en capital, aunado a ello, la humanidad relaciona el empleo de la energía nuclear con la guerra y destrucción; y por si fuera poco los desechos radiactivos siguen siendo un polémico punto de discusión en cuanto a la disposición final. Por lo que la tecnología relacionada con el uso de la energía nuclear (salvo en algunos países como Francia), no ha logrado tener el respaldo económico, social ni institucional por lo que no ha podido solidificarse como una promesa contundente para la generación de energía eléctrica una vez llegado el fin de la era del petróleo.

Con todas las reservas que la prudencia nos impone, la percepción es que la mayoría de las economías del mundo le apostarán a las tecnologías de las FRE ya que presentan la ventaja de la generación distribuida (generar cerca del sitio de consumo), la diversidad de fuentes disponibles y la sustentabilidad que tanto se ha discutido en las últimas fechas.

Bibliografía

Alponte, J.; "Interacción de las energías en la vida colectiva y en los ecosistemas"; *Gaceta Territorio Ambiental*, año 1, No. 2; Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales; 2003.

Arnason, B. and Sigfusson, T.; "New perspectives for renewable energy in Iceland"; Science Institute; University of Iceland Reykjavik, Iceland; p. 9.

Ashton, T.; *La Revolución Industrial 1760-1830*; Fondo de Cultura Económica; México; 1950.

Bauen, A.; Hart, D. and Chase, A.; "Fuel cells for distributed generation in developing countries an analysis"; *International journal of hydrogen energy*; No. 28; 2003; p. 695-701.

Cano C, Ulises; "El hidrógeno como combustible"; *Sociedad Mexicana del Hidrógeno*; 2003.

Derry, T. y Williams, T.; *Historia de la tecnología*; Vol. 2; Trad. de Carlos Caranci et. al.; Siglo 21 Editores; México; 1977; p. 378.

Estrada, C. y Álvarez, G.; "Las energías renovables en el contexto de las energías primarias"; *Memoria Técnica Seminario Nacional Sobre el Uso Racional de la Energía, ATPAE*; México; septiembre 1998; p. 623-628.

García, J.; "Uso de la energía e impacto ambiental. Situación actual y perspectivas"; *Memoria Técnica Seminario Nacional Sobre el Uso Racional de la Energía, ATPAE*; México; septiembre 1998; p. 665-673.

Huacuz, J.; "Energías renovables, base para un esquema de generación distribuida"; *Boletín del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE)*, México; julio-agosto 2000; p. 147-154.

Mohedano, J.; "Energía e historia: pocos recursos y muchos residuos"; *Revista Red Científica*; Madrid, España; 2003.

Pérez, C.; "Las nuevas tecnologías: una visión de conjunto, El Sistema Internacional y América Latina, La tercera revolución industrial, Impactos internacionales del actual viraje tecnológico"; Grupo Editor Latinoamericano; 1986.

Pérez, Carlota; "Cambio tecnológico y oportunidades de desarrollo con blanco móvil"; *Revista CEPAL* No. 75; 2001.

Ramírez, R.; "La evolución del servicio público de electricidad"; *Política y pensamiento conciencia*, No. 13; 2000.

Smil, V.; "Energy at the Crossroads: Global perspectives and uncertainties"; *Technological Forecasting and Social Change*, No. 72; 2005; p. 645-649.

Stamboulis, Y. y Tsoutsos T.; "Política centrada en la innovación para la difusión de las energías renovables"; *Institute for Prospective Technological Studies Report*, Nº 65; 2004.