

DEL EDITOR

LA CRISIS ENERGÉTICA MUNDIAL: UNA OPORTUNIDAD PARA COLOMBIA

José Hilario López A.

Ingeniero de Geología y de Petróleos jhilariol@edatel.net.co

ASPECTOS DE LA CRISIS

En distintas épocas la humanidad ha tenido que enfrentar decisiones cruciales en cuanto a la forma de percibir y afrontar la cambiante realidad. Hoy la concepción del mundo se debe enfocar desde perspectivas nuevas, que están cambiando el entorno geopolítico, sobre todo en relación con los efectos relacionados con el agotamiento del petróleo, y con la concentración de las reservas remanentes por el mundo musulmán de este recurso vital para la supervivencia de la civilización industrial. Estas perspectivas son, entre otras, las siguientes:

- Transformación de la naturaleza del trabajo, desde el uso intensivo de mano de obra hacia la mecanización y robotización
- Primacía de la riqueza originada en el conocimiento y la tecnología sobre la riqueza basada en los recursos naturales
- Irrupción de las telecomunicaciones y la biotecnología
- Pugna entre el comercio y la cultura en el mundo globalizado que se impone, y su amenaza a la diversidad cultural
- Creciente distanciamiento entre los países pobres y ricos por causa de la globalización, como fenómeno dominante
- Crecimiento inusitado de la economía de la República China con el consiguiente incremento de

la demanda mundial por materias primas en bruto y semielaboradas

- Agotamiento de las reservas de petróleo
- Incremento del terrorismo como arma política

Dentro de este panorama se acepta ya como concepto generalizado la escasez de las reservas mundiales de hidrocarburos (petróleo y gas natural), así como la politización del petróleo por los países musulmanes y otros países productores de hidrocarburos del tercer mundo. Los geólogos y especialistas mejor informados sobre la materia coinciden en la creencia que cuando la mitad de la reservas recuperables de petróleo hayan sido extraídas, se llegará a un punto o techo crítico, a partir del cual se generará un déficit creciente en la disponibilidad y oferta, con el consecuente aumento de los precios del combustible. Como esta situación será irreversible, es fácil anticipar los efectos traumáticos para la economía del mundo desarrollado y países emergentes.

Los altos precios del petróleo durante el 2004 y en lo que va corrido del presente año, obedecen a la politización del negocio del petróleo, y éste será el escenario más probable de los mercados de la energía hasta cuando se alcance el techo crítico en la producción. En los años 90 del siglo pasado los precios de los combustibles se mantuvieron estables alrededor de US\$ 20 por barril y los suministros fueron seguros, pero surgieron los problemas étnicos en Nigeria, el caos en Venezuela antes que

Chávez ganara el referendo, la política energética de línea dura en Rusia y de otros países del Norte de África, a lo cual se agrega la continuada insurgencia de Irak después de la invasión de Estados Unidos a este país en el 2003, amén de la creciente demanda de petróleo por la explosión industrial de China. Los analistas y expertos, incluso las siempre tan conservadoras compañías petroleras, creen que los altos precios del actuales del petróleo serán irreversibles, principalmente por el desbalance entre el consumo mundial y los nuevos descubrimientos de reservas.

Una vez que se haya tocado techo en la producción de petróleo se producirán dos hechos fundamentales que cambiarán los escenarios energéticos en el mundo, saber:

1. Concentración de las reservas recuperables en el Medio Oriente, comprometiendo así el equilibrio geopolítico del poder mundial
2. Mayor utilización de sustitutos del petróleo, esencialmente carbón, crudos pesados y arenas asfálticas, con el consiguiente aumento de las emisiones de CO₂, y sus efectos catastróficos sobre los ecosistemas del planeta.

A esto se agrega el deterioro de la infraestructura global construida para explotar, transportar y distribuir combustibles, y las cuantiosas inversiones requeridas para su mantenimiento, reposición y complementación.

Ante la inminente catástrofe aparece hacia el futuro una solución providencial centrada en el hidrógeno como fuente energética, que resolverá de manera definitiva las demandas de combustible de la humanidad, así como los problemas del calentamiento global por las emisiones de gas carbónico.

En el escrito que aquí se presenta, solo con la intención de suscitar un debate constructivo entre los ingenieros y demás especialistas en los temas energéticos, se

plantean alternativas y se discuten las posibilidades de Colombia en el nuevo escenario energético mundial.

LAS RESERVAS MUNDIALES DE PETRÓLEO

Hasta el momento en el mundo se han descubierto unas 600 cuencas petrolíferas en los continentes o en las plataformas submarinas, pero sólo en 125 se encontraron campos productores de magnitud significativa. Las exploraciones intensivas, sobre todo a partir de la década de 1970, de las potenciales cuencas han convencido a los geólogos y a la mismas empresas de que ya quedan muy pocos grandes yacimientos explotables de hidrocarburos (con reservas superiores a 500 millones de barriles) sin descubrir en el mundo.

Los grandes proyectos petroleros que dispone hoy el mundo son muy pocos. Para este año se estima que inicien operación unos 18 proyectos de este tipo y en el próximo año serán sólo 11. Las perspectivas a partir del 2007 son mucho más críticas, pues se estima que sólo se pondrán en marcha 3 proyectos de esta dimensión. Para el 2008 se tendrá la misma cantidad y para el 2009 ninguno. Según los expertos el tiempo para poner en marcha a plena producción un yacimiento desde el momento en que se anuncia su existencia, es de unos 6 años, lo cual significa que cualquier descubrimiento que se haya anunciado en fechas recientes, no podrá entrar en operación antes del 2010¹

La exploración de petróleo está llegando cada vez a regiones más remotas, donde el crudo es más costoso de extraer, normalmente es de menor calidad y además se encuentra en yacimientos mucho más pequeños que los encontrados en décadas

1

<http://www.monografias.com/trabajos26/encarecimiento-petroleo/encarecimiento-petroleo.shtml>

pasadas. A lo anterior se debe agregar que la producción actual de petróleo proviene en más de un 60% de campos maduros y en declinación, que tienen más de 25 años de ser explotados de manera intensiva, donde ya se han aplicado métodos de extracción por medio de inyección de agua, de gas y de nitrógeno.

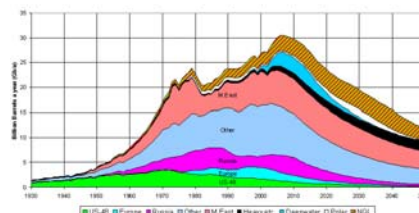
Como consecuencia de todo lo anterior resulta que el consumo mundial de petróleo sobrepasa en mucho a lo que cada año se descubre. La proporción es abismal, se consumen todos los días 5 barriles de petróleo por cada dos que se descubren (demanda mundial mayor de 30.000 millones de barriles por año, cuando sólo se descubren 12.000 millones en el mismo período de tiempo).

Una rápida revisión de la situación de la distribución geográfica mundial de las reservas recuperables de petróleo, así como de la producción y consumo permite enfocar el panorama energético global. En primer lugar es necesario analizar los aforos que se tienen sobre las reservas mundiales de petróleo y su distribución geográfica.

Modelos de analistas independientes indican que las reservas totales estimadas de petróleo en el mundo estarían entre 1,8 y 2,2 billones de barriles. Según la ASPO (Asociación para el Estudio del Petróleo y el Gas, por sus siglas en inglés), la producción mundial de petróleo iniciará su declinación entre el año 2007 y el 2010 (ver gráfica adjunta), lo que significará una escasez todavía más severa a la que hoy está llevando a los precios del petróleo a nuevos máximos históricos cada semana.

La distribución geográfica de los yacimientos indica que cerca del 70% de las reservas mundiales de petróleo se encuentran en la denominada “Cuenca del Islam”, principalmente en cinco países del Golfo Pérsico, encabezados por Arabia Saudita. Otro 10% del petróleo del mundo está en Libia, Nigeria e Indonesia, también países musulmanes, lo cual significa que el 80% del petróleo mundial se encuentra en

manos de Islam. En el Cuadro 1 se indica la distribución de las reservas recuperables en los países con mayores reservas de petróleo en el mundo.



Declinación de la Producción Mundial de Petróleo. Boletín ASPO

www.crisisenergetica.org

Cuadro 1. Distribución de reservas

País	Reservas mm/bls(1)	País	Reservas mm/bls(1)
Arabia Saudita	300.000	Irán	77.000
Rusia	200.000	Kuwait	96.000
USA	195.000	Venezuela	70.000
Irak	150.000	Méjico	17.000

(1)Millones de barriles de petróleo

Por otro aspecto, para analizar los desequilibrios energéticos entre la oferta y la demanda de crudo, es necesario visualizar la distribución de la producción por principales países productores y los requerimientos de las principales naciones industriales, tal como se indica en los cuadros 2 y 3.

Cuadro 2. Distribución de la producción

Principales productores	Producción mm/bls/día (1)	Principales consumidores	Consum mm/bls/día
Ex - Unión Soviética	11,2	Estados Unidos	20,3
Arabia Saudita	9,5(2)	China	6,6
Estados Unidos	8,8	Japón	5,0
Mar del Norte	5,7(3)	Ex Unión Soviética	3,9
Irán	4,0	Alemania	2,5
China	3,6	Canadá	2,3
Méjico	3,3(4)	Méjico	2,3
Canadá	3,1	Corea del Sur	2,0
Nigeria	2,6	Francia	2,0
Venezuela	2,5	Gran Bretaña	1,9

(1)Millones de barriles de petróleo por día, segundo trimestre de 2004. (2) Incluye incrementos recientes en la producción de mas de 1 mm/bls/día para atender déficit en la producción mundial. (3)Producción de :Gran Bretaña Noruega, Dinamarca, Holanda y Alemania. (4) Actualización a segundo trimestre de 2005

Es importante también analizar el siguiente cuadro extractado de una publicación de Agencia Internacional de Energía del año 2000, donde se muestran, como porcentajes, las dependencias crecientes del mundo industrial y de los países emergentes de los suministros externos de petróleo en escenarios proyectados a los años 2010 y 2020:

Cuadro 3. Distribución del consumo

País	Importaciones 2010 (%)	Importaciones 2020 (%)
Norteamérica	52,4	58,0
Europa	67,2	79,0
Pacífico	91,5	92,4
OECD	63,3	70,0
China	61,0	76,9
India	85,2	91,6
Resto del sur de Asia	95,1	96,1
Asia Oriental	70,5	80,7

Un rápido análisis de estos datos muestra que el mundo desarrollado (OECD) tiene que importar cerca de las dos terceras partes del petróleo. Estados Unidos, el mayor consumidor de petróleo en el mundo, depende en mas del 52% del petróleo que importa, principalmente de Arabia Saudita (1,7 millones de barriles diarios), de Méjico (1,0 millones de barriles diarios) y de Venezuela (1,2 millones de barriles diarios). La dependencia de ese país del petróleo importado se incrementará en la próxima década hasta llegar al 58%.

Situación mucho mas critica le sucede a Europa donde se pasará de importar las dos terceras partes del petróleo en el año 2010 a cerca de las cuatro quintas partes en el 2020. Japón y Corea del Sur tienen que

importar casi todo el petróleo que consumen, mientras que la China y a la India demandan cada vez mas combustible líquido importados para su economías en constante expansión.

Esta dependencia explica por si misma porque el control de las reservas de Irak y de Irán es básico para los Estados Unidos, así como la reciente invasión al primero de ellos y las constantes tensiones con el gobierno iraní.

Cuando el Medio Oriente llegue a controlar la tercera parte de la producción de petróleo, lo cual se anticipa que ocurrirá antes de terminar la presente década, los altos precios del crudo definitivamente se mantendrán de manera permanente. Cuando antes de que termine la presente década toquen techo las reservas recuperables de Medio Oriente, los países musulmanes tendrán la última palabra en materia de precios del petróleo.

Para agregar nuevos ingredientes a la crisis, se estima que para poder atender la demanda mundial los países del Golfo Pérsico tendrán que incrementar su producción anual de crudo desde 27 millones diarios de barriles en la actualidad hasta 48 millones antes de terminar la presente década, para lo cual se requerirían inversiones del orden de US\$ 120.000 millones, meta que se considera fuera de todas las posibilidades. De manera realista se cree que sólo podrán alcanzar una producción 38 millones de barriles diarios. El déficit de 10 millones diarios de barriles será un factor adicional de perturbación en el mercado de hidrocarburos y de la economía mundial.

Para tener una idea de los impactos de la crisis energética en el desarrollo, considérese que por cada 10 dólares de incremento en el precio del barril de crudo, el crecimiento económico mundial se reduce en medio punto al cabo de un año.

EL IMPERIO Y DECADENCIA DEL PETRÓLEO

Los activos de las compañías petroleras, tanto privadas como estatales, se avalúan entre 2.000 y 5.000 billones de dólares, sumas que sobrepasan en mucho a las demás industrias que operan en el mundo industrial. Por otro aspecto, el poder económico de las empresas y su capacidad de influir sobre los mercados de hidrocarburos en el mundo se ha magnificado con las fusiones que se están dando a partir del año de 1999.

No obstante este poder jamás alcanzado por ninguna industria en la historia, el mundo afronta amenazas que ponen en peligro la estabilidad y la misma supervivencia de la civilización basada en los combustibles fósiles. Estas amenazas se relacionan principalmente con:

- Descenso de la producción y déficit en la oferta de combustibles líquidos a corto y mediano plazos
- Agotamiento de las reservas recuperables de petróleo y concentración de los últimos remanentes por el mundo musulmán
- Auge del fundamentalismo islámico
- Utilización del petróleo como arma política por los musulmanes
- Calentamiento global por emisiones de anhídrido carbónico (CO₂), al aumentar el consumo de combustibles sustitutos del petróleo

Para entender el significado de los cambios geopolíticos y amenazas que se ciernen sobre el mundo industrial, por causa del agotamiento de los hidrocarburos y su concentración creciente de las reservas remanentes en los países musulmanes, es importante un somero repaso a los fundamentos del Islam, ahora íntimamente asociado al conflicto petrolero.

Para empezar vale la pena resaltar las diferencias entre el Cristianismo y el Islam, a partir de las cuales se puede explicar el atraso del mundo musulmán, en contraposición con el progreso material de occidente y demás culturas que se han estado asimilando a su ideología secular:

- El Islam involucra la religión en el gobierno de los pueblos, como reconocimiento de que Dios está inscrito en la historia humana
- El Cristianismo es una religión centrada en la felicidad en el otro mundo
- El proyecto del Islam es la creación de una sociedad justa y equitativa
- En el Cristianismo Calvinista, dominante en los países industrializados de occidente a partir de la Reforma Protestante del Siglo XVI, se impone la idea de la necesidad del mejoramiento continuo del hombre para merecer la predestinación, origen del capitalismo y del desarrollo industrial
- En el Islam la ciencia está por principio al servicio de Dios, en desmedro del progreso material
- En el Cristianismo la ciencia está sobre todo al servicio del progreso material, de allí la separación entre ciencia y fe

A la situación de atraso se suman las frustraciones y derrotas del mundo musulmán, por causa de las desacertadas e indebidas intervenciones de Occidente y de la incapacidad política de los dirigentes árabes. Baste sólo mencionar algunos de estos desaciertos y frustraciones:

- Las cruzadas de la Edad Media
- Imposición de regímenes coloniales y protectorados por los ingleses para controlar el petróleo en el Medio Oriente, a la caída del imperio otomano después de la Primera Guerra Mundial

- Implantación del Estado de Israel en territorio palestino en el año de 1.948
- Panarabismo de Nasser en años 50 del siglo pasado, especie de colonialismo soviético, con su intento de secularización de la vida cotidiana
- Intento de secularización con el proyecto Sha de Irán Reza Pahlavi en la década de 1970
- Corrupción de las castas dirigentes árabes en connivencia con los occidentales

Toda esta larga historia de vejámenes, fracasos y desengaños ha creado en los jóvenes dirigentes musulmanes la conciencia de la necesidad de buscar una salida que les permita superar atrasos y injusticias. La solución esperada la han encontrado los nuevos dirigentes árabes, y consiste en volver al Islam en su mas pura esencia. El proyecto de Islamización se fundamenta en los siguientes hechos y acciones:

- Decadencia del mundo musulmán causada por el abandono, por pueblos y gobiernos, del Corán y de las enseñanzas del profeta Mahoma
- Pérdida de la fe causada por la influencia de Occidente
- Como solución se impone la reislamización, o sea el reestablecimiento del Sharib (ley islámica)
- Reislamización exige repolitización del Islam

La revolución iraní de 1979 fue el primer intento de repolitización del Islam, seguida por el reconocimiento de la importancia del petróleo como arma política, una especie de versión musulmana de la globalización, para volver al proyecto de Mahoma, el Ummah o proyecto de una sociedad justa e igualitaria.

El “boom” petrolero en el Medio Oriente durante la década de 1970 significó un cambio geopolítico radical, desde un mercado de compradores del petróleo a un mercado de vendedores. Fue así como el año de 1973, con el “boom” y la cuarta guerra árabe israelí, marcó una fecha clave en la reislamización del mundo musulmán, que se materializó en alzas sucesivas en los precios del crudo decretadas por la OPEC. Esto significó que el precio del crudo se elevara desde US\$ 3 en 1970 hasta US\$ 34 en 1980, a lo cual se sumaron aumentos espectaculares en los volúmenes de producción, como fue el caso de Arabia Saudita que pasó de producir 3 millones de barriles diarios en 1970 a 10 millones en 1980, con aumento de su renta petrolera desde US\$ 1.200 millones hasta la increíble suma de US\$ 101.000 millones en sólo 10 años.

Los ingresos de OPEP en 1974 durante el embargo petrolero fueron del orden de US \$340.000 millones; en 1979 a la caída del Sha de Irán y la guerra Irán-Irak esos ingresos subieron hasta US\$ 430.000 millones. Seis años mas tarde dichos ingresos se habían desplomado a US\$ 83.000 millones y siguieron bajos hasta el año pasado.

El “boom” mostró al mundo musulmán todas las oportunidades y ventajas de la reislamización. A su vez, la posterior depresión de los precios internacionales del crudo durante las décadas de 1980 y 1990 puso de manifiesto en primer plano la pobreza y corrupción en el mundo árabe, lo cual refirmó la necesidad de la reislamización.

Con el “boom” se establecieron en el Medio Oriente los actuales estados benefactores, a cambio de dictaduras políticas. El desplome de los precios del petróleo en los 80's y 90's del siglo pasado provocó la crisis de los países islámicos, y con ello la concientización de la juventud hacia la necesidad de la participación política basada en la Reislamización.

La politización de la juventud árabe se apoya en la islamización de sus inmensa riqueza petrolera. Esto marca una radical diferencia con la vieja guardia árabe que concebía el negocio del petróleo bajo intereses comerciales, hacia una concepción de su valor fundada en estrictos intereses políticos.

CONSECUENCIAS DE LA CRISIS ENERGÉTICA MUNDIAL

El acceso del fundamentalismo al poder en Medio Oriente coincidente con el pico en la producción mundial del petróleo tendrá implicaciones radicales en el panorama energético mundial, para enfrentar la crisis global que se avecina por el conflicto surgido con la lucha por el control del petróleo, los cuales se pueden resumir en tres hechos constatables:

- 1 Reorientación de la exploración hacia la búsqueda de gas natural, un recurso tan escaso como el mismo crudo
- 2 Aumentos importantes en el consumo del carbón que incrementarán las emisiones de CO₂ y el consecuente efecto invernadero (6.000 millones de toneladas de CO₂ en 2002 hasta 20.000 millones en 2020)
- 3 Impulso a las investigaciones y desarrollos de nuevas fuentes energéticas alternativas a los hidrocarburos

Se estima que China e India, los líderes del desarrollo como países emergentes durante las primera décadas del Siglo XXI, coparán un 29% del consumo de carbón hasta el 2020. A esto se suman los esperados consumos crecientes del mineral en USA, poseedor de grandes reservas carboníferas. Muy seguramente por esta razón, estos tres países se niegan de manera persistente a la firma de Protocolo de Kyoto, que obliga a la reducción de emisiones de CO₂.

Sin embargo, es preciso anotar que en la actualidad se está trabajando en tecnologías avanzadas de gasificación y licuación del carbón para reducir las emisiones de CO₂. Incluso se ha propuesto almacenar el CO₂ resultante del proceso de gasificación en los pozos abandonados de petróleo y gas.

En relación con el carbón es importante destacar el hecho de que ya se han puesto en marcha proyectos de licuación de carbones en China y en Suráfrica, mientras que en Colombia se impulsan iniciativas similares a nivel estatal y parlamentario. Dada la importancia del proyecto chino para desarrollos similares en nuestro país, mas adelante se hará una rápida referencia al proceso tecnológico.

EL HIDRÓGENO FUENTE INAGOTABLE DE ENERGÍA

El hidrógeno es un elemento muy liviano, ubicuo y abundante en el universo. Su utilización como fuente de energía primaria permitirá a la humanidad disponer de un recurso prácticamente inagotable y no contaminante, que reemplazará ventajosamente primero a los hidrocarburos y mas tarde al carbón.

Con el hidrógeno se avanzará en el proceso de descarbonización de la energía, como logro progresivo del hombre a través de la historia del uso de los combustibles a partir del momento del descubrimiento del fuego, en su empeño por la búsqueda de energías mas limpias para asegurar la preservación de los ecosistemas planetarios.

La descarbonización de la energía se mide por el avance en la reducción de emisiones de CO₂. Para medir este indicador se utiliza la relación entre los átomos de carbono emitidos por cada átomo de hidrógeno generado en la combustión. Históricamente se registra un avance de la relación carbono/hidrógeno en el siguiente sentido: Madera 10/1, carbón 2/1, petróleo 1/1, gas

natural 1/4 e hidrógeno 0 (cero emisiones de CO₂).²

Cada vez que se avanzaba en el proceso de descarbonización de los combustibles se tenían que enfrentar nuevos retos tecnológicos, originados en las mayores dificultades en los procesos de explotación del combustible, igual que en los requerimientos de complejos y costosos sistemas de transporte del mineral y de procesos tecnológicos cada mas sofisticados para el aprovechamiento energético del calor generado por la combustión.

Es así como el paso de la madera al carbón desarrolló la naciente ciencia de la geología y sus aplicaciones prácticas requeridas para la exploración de los depósitos del mineral, principalmente en Alemania e Inglaterra, a la par que la ingeniería de minas para una extracción eficiente del mineral por sistemas de minería, inicialmente subterránea. El transporte del carbón desde las minas hasta los centros industriales donde se concentraba el consumo hizo desarrollar el transpone férreo a grandes distancias, lo cual permitió además la colonización y poblamiento de remotas regiones de la tierra.

La era de los hidrocarburos obligó a avanzar mucho mas las ciencias geológicas y las tecnologías asociadas a la exploración de este recurso natural; igualmente desarrolló toda la tecnología requerida por la ingeniería de petróleos para la extracción de crudos desde grandes profundidades, además de los sistemas de transporte por oleoductos y los sofisticados procesos de refinación, asociados a la producción de gasolina y demás derivados del hidrocarburo. La llegada del gas, de manera similar a sus antecesores energéticos, impulsó otros conocimientos y avances tecnológicos.

Aunque el hidrógeno es el elemento mas abundante en la naturaleza (75% de la masa de la tierra y 90% de sus moléculas; 30% de la masa del sol) no se encuentra libre como los hidrocarburos o el carbón, sino que tiene que ser producido artificialmente.

El primer generador de hidrógeno se construyó en Paris en 1794 en un campo militar para la fabricación de globos de reconocimiento, pero sólo en la década de 1.920 se produjo para fines industriales en Europa y Norteamérica. Hoy se producen cerca de 400.000 millones de m³ de hidrógeno, equivalentes en valor energético al 10% de la producción mundial de petróleo en 1999³. El hidrógeno en la actualidad se utiliza por las industrias de fertilizantes y de alimentos, así como para la producción de prolipropileno y refrigeración de motores, principalmente.

En 1999 Islandia anunció un ambicioso plan para convertir el país en la primera economía del mundo basada en el hidrógeno, aprovechando su riqueza en energía geotérmica (vapor de agua proveniente de sus numerosos géiseres). Hawai puso recientemente en marcha un plan similar al de Islandia.

Producción del hidrógeno

El hidrógeno se produce hoy principalmente partir del gas natural en un proceso denominado de “reformación” con vapor de agua. Con ayuda de un convertidor catalítico, el proceso de reacción del gas con el vapor genera hidrógeno y CO₂. El uso del gas para producir hidrógeno entra en competencia con la creciente demanda de este hidrocarburo para la generación eléctrica, razón por la cual la industria debe buscar otras fuentes energéticas alternas, tales como el carbón y la hidroelectricidad.

El proceso para producir hidrógeno a partir del carbón requiere como paso previo la

² Rifkin, Jeremy, 2002. The Hydrogen Economy. Penguin Putman Inc. New York

³ Rifkin, Jeremy, 2002. Obra citada

gasificación del mineral. Esta posibilidad es de mucho interés para Colombia, sobre todo por la importancia de industrializar los carbones no exportables del interior del país.

Pero la solución definitiva desde el punto de vista energético y ambiental es la producción de hidrógeno mediante el proceso electrolítico. En el proceso de descomposición atómica del agua el hidrógeno va al cátodo (polo negativo de la celda) y el oxígeno al ánodo (polo positivo). El mas serio problema para la industrialización de la producción de hidrógeno mediante la electrólisis es el costo de la energía eléctrica requerida por el proceso, igual que su almacenamiento.

Las pilas de combustible funcionan como verdaderas miniplantas energéticas. Estas pilas son similares a las baterías corrientes, pero con una diferencia: las baterías utilizan una energía química disponible dentro del dispositivo hasta que se consume, mientras que las pilas de combustible reciben la energía química, el hidrógeno, del exterior. Por otro aspecto, no necesitan ser recargadas y pueden seguir funcionando mientras se les suministre hidrógeno del exterior.

Una pila de combustible está formada por un ánodo de carga positiva, un cátodo de carga negativa y un electrolito, consistente en una solución alcalina o conformado por una membrana de plástico que permite el paso de los átomos de hidrógeno eléctricamente cargados desde el ánodo hasta el cátodo. Cuando se introduce el hidrógeno en el ánodo de la pila, se genera una reacción química que rompe el átomo en un protón y un electrón. Los electrones liberados salen a través del circuito eléctrico en forma de corriente eléctrica directa.

Las pilas de combustible invierten el proceso electrolítico, ya que generan agua después de haber producido electricidad, lo

cual lo califica como un proceso absolutamente limpio.

Sin embargo para llegar a las pilas de combustible como solución energética definitiva, el mundo desarrollado requiere una “energía puente” que permita la transición desde la era del petróleo a la “economía del hidrógeno”. Esta “energía puente”, a no dudarlo, será el carbón y en este tránsito Colombia con sus grandes reservas del mineral tiene que jugar un papel destacado.

COLOMBIA Y LA CRISIS ENERGÉTICA

La Ley 20 de 1.969 creó los contratos de asociación petrolera en Colombia. En desarrollo de esta dicha ley, el Decreto 2310 de 1974 suspendió las concesiones petroleras y dio origen a los contratos de asociación.

Con base en esta modalidad de contratación, Colombia llegó a ser un país competitivo internacionalmente en cuanto a inversión para las compañías petroleras, tal como lo indica la perforación de más de 70 pozos exploratorios por año hacia finales de la década de 1980, y el descubrimiento por esa misma época de los grandes campos de Caño Limón y Cusiana–Cupiagua.

Pero se cometieron graves errores en el manejo de la política por parte de los sucesivos gobiernos nacionales, errores que han llevado al país al borde de perder la autosuficiencia petrolera, los cuales se pueden resumir en los siguientes términos:

En primer lugar se dejaron agotar mas de la mitad de nuestras de por sí exiguas reservas petroleras, hasta tal punto que en este momento se cuenta con sólo 1.478 millones de barriles recuperables, lo cual nos conduce inexorablemente al agotamiento de las reservas en los próximos seis o siete años, y a que en este mismo período Colombia tenga que empezar a pagar en dólares y a precios internacionales a las

empresas extranjeras asociadas a ECOPETROL una porción creciente de los crudos que se requieren para atender la demanda de nuestras refinerías, lo cual técnicamente equivale a que antes de que termine la presente década ya estaremos importando combustibles.

Esto obedece a una equivocada política económica cada vez mas dependiente del petróleo, hasta el punto de que hoy el crudo sea el principal producto de exportación, no obstante tratarse de un recurso en vías de agotamiento y de interés estratégico.

El segundo lugar se acometieron extemporáneamente los cambios, que en materia de legislación petrolera se requerían con urgencia para retener las compañías que ya operaban en el país y para atraer mas inversión extranjera. Cuando se hicieron los correctivos ya las compañías petroleras habían perdido el interés en Colombia y emigrado hacia países mas atractivos, como China, Libia, Rusia, Bolivia, Venezuela y Argentina, principalmente.

En tercer lugar perdimos credibilidad ante el mundo, cuando insistimos con presentar noticias sobre ficticios hallazgos de fabulosos campos petrolíferos, como ocurrió con el modesto descubrimiento del campo Guandó en la región del alto río Magdalena y con el campo Coporo, así como las especulaciones sobre la riqueza en crudos de Gibraltar, éstos últimos en el pie de monte llanero.

Ajustes inconsultos y ambiciosos en los sistemas de contratación en el año de 1989, dieron como resultado una notoria disminución de la actividad exploratoria en el país por parte de las compañías petroleras extranjeras. A esto se agrega la inseguridad en materia tributaria.

Para atender la demanda interna de derivados de petróleo y generar un pequeño remanente para exportación, Colombia tendría que producir cerca de 260 millones de barriles anuales de crudo. Para

garantizar esta producción se deberán descubrir anualmente cinco campos de tamaño mediano, lo que significa, según registros históricos de probabilidad de éxito, la necesidad de perforar por lo menos 32 pozos exploratorios por año, cuando ECOPETROL y sus compañías asociadas apenas tienen programado perforar 20 de estos pozos en el presente año.

Colombia tiene reservas potenciales del orden de 37.500 millones de barriles de petróleo principalmente en el piedemonte llanero, pero nunca hemos garantizado con perforaciones la existencia de más de 2.000 millones de barriles. Esto significa que esta gran cuenca petrolífera colombiana está prácticamente inexplorada, en contraste con las demás cuencas petrolíferas del mundo, donde sus yacimientos están ya relativamente bien explorados.

En este momento, cuando nuestras reservas han declinado hasta niveles de riesgo, situación que compromete seriamente la estabilidad macroeconómica del país, se requiere todo el esfuerzo y compromiso del Gobierno Nacional para incrementar la actividad exploratoria en las áreas contratadas.

Hay que revisar nuevamente, si fuera el caso, los esquemas de contratación petrolera, o aún intensificar campañas exploratorias con recursos de ECOPETROL.

FUENTES ENERGÉTICAS ALTERNATIVAS

Además de su política petrolera, nuestro país debe revisar su estrategia energética en relación con las fuentes alternativas a los hidrocarburos. Es necesario empezar a aplicar a la política petrolera y carbonera el principio de la sostenibilidad ambiental, consagrado en el Artículo 80 de la Constitución Nacional. Con base en este principio, se debería invertir parte de la renta proveniente de las exportaciones de estos dos recursos no renovables en el

desarrollo de fuentes renovables, principalmente en proyectos hidroeléctricos y en la industrialización del carbón, mediante plantas de gasificación y de licuación del mineral.

En primer lugar, se deben mirar las ventajas comparativas que ofrece nuestra riqueza hídrica y las grandes reservas de carbón de buena calidad, pero ya dentro de un concepto de desarrollo nacional que va más allá de la simple visión de corto plazo, de mirar el recurso natural en bruto exclusivamente como objeto de exportación, sin ningún valor agregado industrial.

Analicemos a continuación, así sea de paso, las posibilidades de la hidroelectricidad como fuente alterna a los hidrocarburos y en segundo lugar las grandes ventajas de la industrialización del carbón colombiano.

Hidroelectricidad

Colombia con su riqueza hídrica y en especial con el Proyecto Hidroeléctrico Pescadero-Ituango, 2.000 MW de capacidad instalada, tiene grandes oportunidades a corto y medianos plazos en el mundo de hidrógeno, además de otros aprovechamientos industriales, como es el caso de una planta de producción de aluminio para la exportación, que sólo es rentable cuando se dispone de energía eléctrica barata para la reducción del mineral bauxita⁴. Otro proyecto que merece especial atención es el que se ha propuesto para la instalación de una planta de producción de acero para exportación localizable en las cercanías de un puerto caribe, con base en chatarra o mineral de hierro importados y nuestra riqueza en energía hidroeléctrica.

⁴ López A José Hilario, 2005. Industrialización de la Energía del Proyecto Hidroeléctrico Pescadero – Ituango. Documento presentado a la Comisión de Altos Estudios de la Sociedad Antioqueña de Arquitectos e Ingenieros

Según los estudios de factibilidad, un kilowatio/hora generado por la central de Pescadero-Ituango tendría un costo actualizado de US\$ 0,025, uno de los más bajos en el mercado de la energía eléctrica en el mundo. Para tener una referencia considérese que los costos de la energía eléctrica generada en una central térmica a gas con un factor de planta del 70% son del orden de US\$ 0,040-0,045 por kilowatio-hora, casi el doble de lo cuesta generar el mismo kilowatio en la central de Pescadero Ituango.

El Proyecto Hidroeléctrico del Río Amoyá en el Departamento del Tolima, 80 MW de capacidad instalada y costos de generación entre 0,026 y 0,028 US\$/kWh, es pionero en el país como que ha sido el primero en ser calificado como merecedor de bonos ambientales con base en el Protocolo de Kyoto. En efecto, en mayo de 2004 el Banco Mundial y el Gobierno de Holanda garantizaron un contrato de venta de Certificados de Reducción de Emisiones de Carbono (4.565.000 millones de toneladas de CO²) para el periodo 2007-2019, lo cual le significará ingresos adicionales a la Generación de Energía del Proyecto del Amoyá por valor de €18'260.000 euros.

El proyecto del Río Amoyá es, a no dudar, un modelo a replicar en otras zonas donde sea factible concebir proyectos de generación hidroeléctrica a filo de agua, es decir sin embalses. Los proyectos de Encimadas y Cañaveral en el río Arma, con una capacidad instalada total de 162 MW, se inscriben dentro de esta estrategia⁵. Se cree que estos proyectos de pequeña y mediana capacidad pueden desarrollarse con inversión privada nacional.

Del máximo interés son algunos de los proyectos concebidos para incrementar la eficiencia de plantas hidroeléctricas en

⁵ Generadora Unión S.A. E:S:P,2005. Proyecto de Servicios Ambientales del Río Arma. Proyectos Hidroeléctricos Encimadas y Cañaveral

operación, mediante la desviación de ríos hacia los embalses existentes. Entre estos proyectos se han evaluado, entre otros, los siguientes: Transvases del Río Digua al Embalse de la Central del Alto Anchicayá y del Río Ovejas al Embalse de Salvajina, ambos en el Departamento del Valle del Cauca; Transvase de los ríos Guarinó y Manso al Embalse de La Central de La Miel en el Departamento de Caldas.

Por último creemos que no debemos tenerle miedo a seguir construyendo embalses para aprovechamientos hidroeléctricos, tales como el Proyecto Hidroeléctrico del Río Sogamoso, 849 MW de capacidad instalada y costo de generación de 0,027 US\$/kW/hora. Creo que vale la pena reflexionar en este y otros casos respondiendo a la pregunta ¿Cuál impacto es más desfavorable en términos ecológicos: el causado por un embalse o el resultante de la emanación de gases en desarrollos termoeléctricos?.

Mirando el crecimiento de la economía de la República China en relación con la demanda de electricidad, causa asombro lo que va a significar atender los consumos de una población superior a 1.300 millones de habitantes, cuando se alcancen las metas propuestas por el gobierno de ese país de llegar en el corto plazo a ingresos per cápita de US \$ 10.000. Según índices establecidos por el Banco Mundial, una población con ese nivel de ingresos requiere 3.500 kW/hora por habitante y por año, energía que China, ni ningún país del mundo, puede llegar a producir dentro de su propio territorio. A esto falta agregarle las demandas de electricidad por la industria en constante expansión.

Colombia con su gran potencial hidroeléctrico, estimado en cerca de 93.000 MW de potencia, tiene grandes posibilidades de desarrollar estos recursos para aprovechamientos industriales en el territorio nacional, con miras a los mercados internacionales de materias primas elaboradas que requieran altos

insumos energéticos en su proceso industrial. Para estos desarrollos es necesario contar con la inversión extranjera, en especial cuando se trata de grandes proyectos, en cambio los proyectos pequeños y medianos podrán construirse con capitales nacionales, privados o públicos o mediante sistemas de asociación de esfuerzos de estas dos entidades.

Gasificación y licuación de carbones

La gasificación es un proceso que convierte el carbón en gas limpio, denominado gas de síntesis, utilizable como combustible para generación eléctrica o como materia prima para la producción de petroquímicos, fertilizantes y combustibles líquidos. El proceso consiste en hacer pasar vapor de agua y oxígeno a través del carbón a altas temperaturas y presiones, obteniendo como resultado monóxido de carbono e hidrógeno, que luego se transforman en combustibles líquidos. Como residuo del proceso se genera SO₂ y CO₂.

Para convertir el gas de síntesis en combustibles líquidos se puede utilizar la tecnología Fisher-Tropsch (FT), desarrollada en Alemania en 1920 y utilizada durante la Segunda Guerra Mundial y posteriormente industrializada en Suráfrica.

La empresa surafricana Sasol tiene su propia tecnología Fisher-Tropsch, denominada SPD (“Slurry Phase Destillate”), para la producción de diesel de alta calidad, igual que el sistema SAS (“Sasol Advanced Synthol”) para la producción de gasolina. Los costos de capital para una planta SPD de 10.000 barriles diarios de producción son del orden de 25.000 US\$/barril, el costo de la materia prima (gas de síntesis) es de 1 US\$/barril y los costos de administración, operación y mantenimiento (AOM) totalizan 5 US\$/barril.

Suráfrica con su empresa Sasol es líder mundial en gasificación y licuación de

carbones, con una producción actual de más de 150.000 barriles de combustibles líquidos, que equivalen al 40% de la demanda del país.

Además de Sasol, se conocen otros desarrollos comerciales para la producción de combustibles líquidos a partir de carbón, tales como el de Statol en Noruega (Proceso FT), y las tecnologías de Exxon (SPD), de Texaco-Chevron en asociación con Sasol y la de Shell, empresa ésta que opera proyectos en Italia (gasificación para generación eléctrica) y el de Qatar.

Texaco estima que el costo de capital para una planta con capacidad de producción de 20.000 barriles diarios de combustibles líquidos es del orden de 15.000 US\$/barril. A su vez la compañía norteamericana Syntroleum afirma tener un proceso con costos de capital de 13.000 US\$/barril y AOM entre 3,5 y 5,7 US\$/barril.

Para que los procesos de licuación de carbones sean viables se requiere que el crudo en el mercado internacional esté por encima de 20 US\$/barril, preferiblemente por encima de 25 US\$/barril. Actualmente existen 160 proyectos de gasificación en el mundo, así como 69 proyectos de producción de químicos a partir de carbón.

Paralelamente con las tecnologías FT y SPT, a finales del Siglo XX se lograron muy importantes avances tecnológicos en la licuación de carbones, sobre todo con la invención del "Proceso Catalítico de Licuación en Dos Etapas" (el CTSL Process, en inglés), el cual permitió pasar de un rendimiento de 3 barriles de combustible líquido por cada tonelada de carbón hasta llegar a cerca de 5 barriles⁶.

⁶ Londoño A, Jairo, 2004. "Como Aminorar la Crisis Petrolera que se Avecina". Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos. Desde la SAI, 2004.

El Grupo Axens del Instituto Francés del Petróleo recientemente desarrolló la más avanzada tecnología para licuar carbón hoy conocida en el mundo. En términos generales la tecnología empleada para licuar el carbón consiste en pulverizar el carbón y añadirle hidrógeno, en presencia de un catalizador, hasta llegar a producir uno o varios hidrocarburos líquidos removiendo, de paso, parte del azufre, el nitrógeno y las cenizas contenidas en el carbón.

El proceso se inicia en un tanque en donde se mezclan el carbón pulverizado y el "slurry" reciclado de aceite generado durante el proceso. Posteriormente la mezcla se precalienta y bombea una presión de 17 a 20 Mpa, para que en una primera etapa del proceso sea tratada catalíticamente con hidrógeno en un reactor, que opera a una temperatura entre 400° C y 425° C, disolviendo e hidrogenando el carbón que de allí sale como aceite reciclado.

En un segundo reactor catalítico se completa la conversión del carbón a hidrocarburos líquidos destilados removiendo los contaminantes (azufre, nitrógeno, oxígeno y cenizas).

En junio de 2002, el Shenhua Group Corporation Ltd seleccionó la tecnología de Axens para el montaje la región de Mongolia, China Popular de una planta comercial que producirá, en una primera etapa, 20 mil barriles diarios de combustible diesel y gasolina motor, a partir del carbón existente en el yacimiento más grande del mundo, pero de pobre poder calorífico (el de Shenhua con 220 mil millones de reservas). En una segunda etapa se deberán estar produciendo 50 mil barriles diarios de combustibles líquidos a partir de 15 mil toneladas diarias de carbón (a razón de 3,3 barriles por tonelada de carbón), con una inversión estimada en US\$ 2 mil millones.

En junio de 2004 el gobierno chino y Sasol firmaron un memorando de entendimiento

para la construcción de dos plantas para producir a partir de carbón 440 millones de barriles por año de combustibles líquidos (1,2 millones de barriles diarios). El costo de producción por barril se estima en 15 US\$, de los cuales 10 US\$ representan los costos de capital y de la materia prima.

La inversión en las dos plantas contratadas por China con Sasol es del orden de US\$ 3.000 millones, lo cual significa una reducción muy significativa, si se compara con proyectos similares, aunque de menor escala, en curso en los Estados Unidos.

Para la China la licuación de carbones se convierte en una estrategia fundamental, debido a su alta dependencia del crudo importado y a las crecientes demandas de combustibles, que podrían llegar a duplicarse para el año 2020. Esto significaría que este país llegaría a importar cerca de 10 millones de barriles diarios de crudo, lo cual sumado a la demanda de otros países en rápido desarrollo, especialmente India, agrega un elemento adicional a la incertidumbre y complejidad de los mercados de hidrocarburos⁷.

Colombia, como es bien sabido, posee una muy importante cantidad de reservas de carbón (6,6 mil millones de toneladas) de excelente calidad, reservas que utilizando el proceso Axens podrían ser convertidas en alrededor de 27 mil millones de barriles de crudo (cifra equivalente a 18 veces las reservas de petróleo que actualmente posee el país), lo cual permite plantear de manera preliminar la posibilidad de instalar plantas de licuación en áreas vecinas a los más importantes yacimientos de carbón.

En Colombia se terminó recientemente un proyecto piloto de gran importancia nacional para producir gas de síntesis a partir del carbón con apoyo de COLCIENCIAS y la desaparecida MINERCOL, donde participaron la

Facultad Nacional de Minas y las universidades de Antioquia y Pontificia Bolivariana. El gasificador diseñado utiliza la tecnología de lecho fluidizado, que permite obtener con los carbones antioqueños, a nivel de planta piloto, un combustible dos veces más económico que el ACPM y tres veces más económico que gas natural⁸

En estos momentos se está impulsando en Colombia un proyecto similar al de Axens en La China con los carbones exportables de la Guajira y del Cesar, mediante la exención del impuesto a las ventas del mineral que se utilizase en licuación. Dado el alto costo de oportunidad de este mineral en los mercados internacionales, se considera que proyectos similares al de la Costa Atlántica, pero con base en los carbones no exportables del interior del país, localizados en la cuenca del Sinifaná antioqueño y en el altiplano cundi-boyacense, podrían ser de un mayor interés nacional, ya que se aprovecharía el relativo bajo precio del mineral y su cercanía a los mercados de Medellín y Bogotá.

La gasificación de carbones colombianos tendría la ventaja de contar con minerales de mejor calidad que los que se van a utilizar en China, con costos de producción de los más bajos del mundo, así como la disponibilidad de gas natural y poliductos vecinos a las futuras plantas y a que su ubicación respecto al futuro mercado interno y externo del crudo y sus derivados es realmente privilegiada.

⁷ Samuelson, Robert, The Dawn of a New Oil Era?. Newsweek, abril 4 de 2005.

⁸ Chejne J., Farid, 2005. Gasificación de Carbones. Conferencia presentada en la Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Arquitectos, 30 de agosto de 2005