

Ciencia y tecnología en El Salvador

1. Introducción

Restos arqueológicos encontrados en un valle árido de Africa prueban que hace dos millones de años existió en ese lugar un lago donde desembocaban los ríos formados en la cadena volcánica que rodeaba el valle. Los recursos existentes permitieron la coexistencia de dos de las culturas más importantes de la edad de piedra a la orilla del lago. La más vieja de ellas utilizaba herramientas rudimentarias, mientras que la otra se caracterizó por el uso de una tecnología más diversificada y sofisticada, siendo sorprendente que durante más de medio millón de años no hubiera transferencia de estos instrumentos tecnológicos. Después de este período la situación cambió por razones desconocidas, aunque es posible inferir que una de las principales causas fue el agotamiento de los recursos, debido a cambios climáticos o al aumento de la población en una de las culturas. En todo caso, la cultura con los elementos tecnológicos más avanzados predominó y tomó las orillas del lago.

En la historia de la humanidad, éste es sólo uno de los ejemplos que muestra la compleja interrelación existente entre la tecnología y la transformación de las sociedades. De hecho, a partir de la llamada "revolución industrial", estos ejemplos han sido cada vez más frecuentes y de un mayor alcance. Particularmente en El Salvador, puede mencionarse entre los ejemplos más evidentes, el descubrimiento de la síntesis del colorante contenido en la planta del añil, a partir de recursos fósiles. Esto trajo como consecuencia el cambio

del añil al café como principal producto de exportación, con todas las transformaciones sociales y económicas asociadas a ese cambio.

El reconocimiento de que los recursos naturales son limitados, el mejor conocimiento del impacto del modelo de desarrollo en el medio ambiente, la globalización de la economía y los espectaculares avances científicos y tecnológicos alcanzados en los últimos años se encuentran entre los acontecimientos que obligan a reflexionar, sobre la relación de la ciencia y la tecnología con las transformaciones tan necesarias en el país.

2. Ciencia y tecnología como instrumentos

El Club de Roma en su último informe "La revolución global"¹, menciona la ciencia y la tecnología, junto con la educación y los medios de comunicación, como los instrumentos con que cuenta la humanidad para enfrentar los gigantes problemas ecológicos, alimentarios, energéticos y de salud con que se ve confrontada y que, paradójicamente, han sido causados de modo frecuente por la implementación de avances científicos y tecnológicos, que en su momento se consideraron parte de la solución a problemas específicos. De hecho, el papel de la ciencia y la tecnología como factores determinantes en la configuración de los procesos económicos, es reconocido actualmente por la mayoría de sectores y han dejado de considerarse factores exógenos a dichos procesos.

Ahora bien, la introducción de tecnología en el

proceso económico puede causar cambios irreversibles en el medio ambiente natural que sustenta la vida humana. Por eso, muchas instituciones dedicadas a la protección del medio ambiente mantienen posiciones en contra del uso de cualquier tecnología. Es claro, sin embargo, que la renuncia absoluta al uso de toda tecnología implicaría, entre otras cosas, la renuncia a la concepción antropocentrista de la naturaleza y, por lo tanto, la renuncia a la conservación y, o alargamiento de la vida a través de la implementación de avances tecnológicos. Dado que esta posición no se considera realista, la pregunta a discutir no es si la tecnología debe o no ser utilizada, sino más bien qué tipo de tecnología, cuándo y cómo debe ser implementada.

La aplicación de las llamadas tecnologías de punta ha intensificado aún más la discusión sobre la estrecha relación que existe entre la ciencia, la tecnología y el desarrollo económico y social. Por un lado, se ha planteado que estas tecnologías de avanzada podrían aumentar las diferencias existentes entre los países industrializados y los no industrializados, mientras que, por el otro lado, son vistas por muchos como una oportunidad para los países pobres para alcanzar un nivel de bienestar aceptable en un intervalo de tiempo relativamente corto.

De estas tecnologías de punta quizás las que más han llamado la atención por el impacto que pueden tener, son las basadas en la microelectrónica y las llamadas "nuevas" biotecnologías. El impacto de las primeras en los países poco industrializados es aún contradictorio, pues si bien aumenta la eficiencia de los procesos productivos, su utilización se ha concentrado en los países industrializados, en donde ha contribuido a que la mano de obra sea cada vez una parte menos importante de los costos de producción, lo que podría inducir a las empresas a retransferir la producción que se efectúa en el extranjero a sus países de origen. El aumento de la eficiencia de los procesos y la mejora en la calidad de los productos obtenidos a relativamente bajo costo somete, además, a los países menos industrializados a una gran presión, obligándolos a la modernización de sus propias estructuras productivas para poder mantener su viabilidad económica.

La biotecnología, por su parte, puede tener un impacto significativo, sobre todo en aquellos países donde las actividades agrícolas son aún dominantes, dado que la materia prima de muchos de los procesos de transformación biotecnológica proviene directa o indirectamente de los recursos agrícolas. Muchas de las investigaciones en biotecnología son además, relativamente baratas y pueden adaptarse fácilmente a las necesidades de cada región o país. Por otro lado, la aplicación de procesos biotecnológicos en los países industrializados tiene, en muchas ocasiones, consecuencias directas sobre los países menos industrializados, ya que hace a aquéllos menos dependientes de las materias primas producidas por éstos, como ha sido el caso de la producción de edulcorantes sustitutos del azúcar de caña. Los espectaculares avances en ingeniería genética, la producción de anticuerpos monoclonales mediante el cultivo de tejidos animales, el acelerado y creciente conocimiento en las biotransformaciones, de la biología molecular y de otras ciencias básicas, aumentan aún más las expectativas sobre el potencial de aplicación de las biotecnologías en la solución de los problemas ambientales, de alimentación, de salud, de energía y de un aprovechamiento más eficiente de los recursos naturales renovables.

El decreciente intervalo de tiempo entre los avances científicos y las correspondientes aplicaciones de estas tecnologías de punta junto con los problemas ecológicos actuales, las cada vez más frecuentes "crisis de energía", el hecho de tener que satisfacer las necesidades básicas de una población creciente y las exigencias cada vez mayores de productos de mejor calidad fabricados con procesos más eficientes al mínimo costo ambiental posible, son otros de los factores que exigen de todos los países, y de manera muy urgente, de los menos industrializados, tomar las medidas adecuadas que permitan incorporar éstos y otros avances científicos y tecnológicos que contribuyan a mantener la viabilidad del país, en su intento por resolver adecuadamente estos problemas.

3. Planificación de ciencia y tecnología en El Salvador

El desarrollo económico y tecnológico en los

países del llamado "tercer mundo" ha sido, especialmente desde la década de los años treinta, un proceso de imitación de lo que los países industrializados han establecido como el modelo a seguir. Con un tiempo de atraso considerable han sido, y siguen siendo, implementados aquellos avances tecnológicos que usualmente están ligados con el patrón de consumo de las grandes clases medias de los países industrializados. Si bien la discusión de esta situación ha sido caracterizada por la participación de corrientes ideológicas contrarias, el hecho es que, independientemente de la corriente de pensamiento con que se analice, en la actualidad los defectos de este modelo de desarrollo tecnológico y económico son más visibles que nunca.



Así, por ejemplo, las condiciones de vida del hemisferio sur han empeorado sensiblemente con el aumento, en términos absolutos y relativos, de la extrema pobreza y de todos los problemas asociados con ella, incluyendo países donde ha habido un considerable crecimiento económico. El acelerado deterioro del medio ambiente, el descontrolado crecimiento de los centros urbanos, la falta de empleo digno y la alta dependencia tecnológica, son otras de las manifestaciones de los defectos del modelo imitativo que se ha seguido.

En este contexto, la incorporación de El Salvador al cambio científico y tecnológico que contribuya a la consecución de un bienestar digno, en el marco de un proceso de desarrollo sustentable y teniendo en cuenta las necesidades prioritarias del país, debe considerarse como una de las tareas principales a ejecutar en el período de transición en el que nos encontramos. Debe tomarse en cuenta, sin embargo, que la política de ciencia y tecnología es sólo uno de los instrumentos que deben ser utilizados en la búsqueda de una solución real y duradera a los problemas del país y para que sea efectiva debe ser ejecutada dentro de un marco más amplio, que considere la estrecha interrelación entre tecnología y sociedad.

En El Salvador, como en muchos otros países,

el aumento de la extrema pobreza, la visible deforestación, la erosión de las tierras, la erosión genética, la contaminación de los ríos, la alta dependencia de las fluctuaciones de los productos tradicionales de exportación, la falta de competitividad de los productos e industrias salvadoreñas y el limitado suministro de energía pueden contabilizarse entre los factores que obligan a considerar urgentemente la formulación de una política de ciencia y tecnología que establezca el marco global de aplicación de los avances tecnológicos necesarios para resolver los problemas prioritarios con una perspectiva que no sólo considere medidas a corto plazo, sino que con igual importancia, también considere medidas a mediano y largo plazo, asegurando la preservación del medio ambiente natural que sustenta la existencia humana.

Aunque ya en la década de los sesenta y setenta se generó un movimiento en América Latina orientado a institucionalizar las actividades científicas y tecnológicas, en El Salvador ha sido solo recientemente reconocida, por los sectores del más alto nivel político, la importancia del papel que les corresponde en la configuración de un proceso de desarrollo sostenido.

Esta situación se ha manifestado en los acuerdos tomados en materia de ciencia y tecnología por cada cumbre presidencial de Centroamérica y Panamá que se ha llevado a cabo desde la definición del Programa de Acción Económico para Centroamérica que llevó a la aprobación de una

Política regional de ciencia y tecnología² y a la elaboración de un perfil de proyecto de inversión en el desarrollo científico y tecnológico de los sectores productivos³.

Ante la falta de un organismo que coordinara el desarrollo científico y tecnológico fué creado, en octubre de 1992, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología como autoridad superior en materia de política científica y tecnológica, siendo una de sus atribuciones el "formular y dirigir las políticas y programas nacionales de desarrollo científico y tecnológico orientados al desarrollo económico y social de la república"⁴. En este contexto, es clara la magnitud e importancia de la responsabilidad de este Consejo en el logro de un desarrollo sostenido que esté orientado a la consecución de una creciente calidad de vida y a la creación de posibilidades de mejoramiento de los sectores más pobres, transformando las estructuras productivas del país.

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología fue creado, en gran medida, por las presiones a que están sometidos en la actualidad los países atrasados tecnológicamente, ante las características del comercio internacional, que incluyen la formación de bloques económicos y la apertura de los mercados a nuevos productos y servicios. Estas características obligan a la incorporación de innovaciones tecnológicas que aumenten la competitividad de los productos del país bajo las normas de calidad exigidas. Sin embargo, una política de ciencia y tecnología no debería tener como fin último el aumento de competitividad considerada aisladamente, sino más bien como una de las etapas necesarias para la consecución del bienestar de la población dentro del marco de un desarrollo sustentable.

La reflexión sobre los conocimientos y las innovaciones científicas y tecnológicas que permitirán en El Salvador alcanzar un desarrollo sustentable, requiere también una reflexión sobre lo que se concibe como tal. En este sentido, el mejor conocimiento de la relación entre el uso de la tecnología, el medio ambiente y el proceso económico ha llevado al reconocimiento de que cualquiera que sea la concepción de desarrollo, éste implica la transformación progresiva del medio ambiente

natural en un medio ambiente artificial. Durante esta transformación se crean bienes y servicios que contribuyen al "bienestar" de la población humana. Esta transformación afecta la capacidad del medio ambiente natural en la sustentación del desarrollo, de tal manera que a mayor grado de transformación del medio ambiente natural, más difícil su conservación y recuperación y más difícil sustentar el desarrollo.

La World Commission on Environment and Development define el desarrollo sustentable como la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones de satisfacer las suyas. Es claro que esta definición implica límites en el desarrollo, que si bien no son absolutos, deben ajustarse a lo que es el estado actual de la tecnología, la realidad social, los recursos naturales disponibles y la habilidad de la naturaleza para absorber los efectos de la actividad humana. La definición implica además reinvertir en el medio ambiente natural para asegurar su conservación, su recuperación y su conocimiento para poder sustentar el desarrollo. Implica también un replanteamiento del concepto de "bienestar humano" que podría significar una renuncia a muchos de los valores que actualmente se tienen y que en muchas ocasiones son consecuencia del ya mencionado proceso imitativo de desarrollo.

A partir de estos conceptos podrían y deberían definirse las tecnologías apropiadas para conseguir un desarrollo sostenido en El Salvador. Aquí es conveniente aclarar que el término "apropiadas" no implica exclusivamente las tecnologías de bajo costo, como era la aceptación general hace algunos años pues, de hecho, éstas no son suficientes para resolver los problemas. Así, por ejemplo, la construcción de estufas más eficientes podrá mejorar la eficiencia en el uso de la leña, pero no resolver por sí sola el problema de la deforestación. Las tecnologías intermedias y las tecnologías de avanzada pueden ser apropiadas siempre y cuando optimicen la utilización de los recursos sin afectar irreversible y, o irremediablemente al medio ambiente natural.

Será a través de la concertación de los diferentes sectores representados en la junta directiva del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología que se

Cuadro 1
Combustibles fósiles y fotosíntesis

Combustibles fósiles	
— Reservas comprobadas	25 x 10 ²¹ J
— Reservas estimadas	300 x 10 ²¹ J
Fotosíntesis anual	3 x 10 ²¹ J
Biomasa almacenada (90 % como árboles)	20 x 10 ²¹ J
Consumo mundial anual de energía	3 x 10 ²⁰ J

Fuente: Biomass for Energy, Proceedings of Conference C-20 of UK Section, Int. Solar Energy Society, Londres (1979).

Cuadro 2
Procesos de conversión de energía solar en combustibles

Fuente	Proceso	Productos
Biomasa seca (leña, residuos y productos agrícolas)	Combustión	Calor, Electricidad
	Gasificación	Combustibles gaseosos
	Pirólisis	Combustibles gaseosos, líquidos y sólidos
	Hidrólisis y Fermentación	Etanol y otros
Biomasa húmeda	Digestión anaeróbica	Metano
Azúcares y Polisacáridos	Fermentación	Etanol y otros
Agua	Transformaciones fotobiológicas y fotoquímicas	Hidrógeno

Fuente: Biomass for Energy, Proceedings of Conference C-20 of UK Section, Int. Solar Energy Society, Londres (1979).

deberán tomar las decisiones en cuanto a la política y al programa de ciencia y tecnología. Sin embargo, desde ya puede esperarse que muchas de las decisiones deberán ir dirigidas a fortalecer la formación de recursos humanos calificados (desde los niveles básicos) y la infraestructura necesaria para ejecutar y formular políticas y programas de ciencia y tecnología, pues la experiencia ha mostrado que la falta de estos recursos es, precisamente, uno de los factores limitantes en lo que refiere a la generación y, o incorporación de los avances científicos y tecnológicos apropiados.

Las experiencias latinoamericanas muestran además, que la implementación de avances tecnológicos depende en gran medida de la vinculación existente entre los sectores que demandan o podrían demandar el conocimiento tecnológico y los sectores que ofrecen el conocimiento tecnológico. Dada la situación actual de una vinculación casi inexistente, es de esperarse que muchas de las medidas a tomar deberán dirigirse a buscar los mecanismos que faciliten y fortalezcan la vinculación entre los diferentes sectores y que además permitan la implementación de los avances tecnológicos que se consideren necesarios en la solución de los problemas más urgentes del país.

Es de esperarse también que, dada la limitada disponibilidad de los recursos, se tengan que establecer prioridades que determinen las actividades que deben realizarse a corto, mediano y largo plazo, en base a un mejor conocimiento de los recursos humanos y físicos, actual y potencialmente disponibles.

5. Un ejemplo: el problema energético

Quizás el ejemplo concreto más tangible en lo que respecta a la interrelación entre ciencia, tecnología y desarrollo económico y social, se puede encontrar en las transformaciones energéticas necesarias para sustentar cualquier modelo de desarrollo.

La demanda de energía en cualquier etapa real o esperada en un proceso de desarrollo puede ser estimada de manera simplista por la multiplicación de la energía per cápita consumida por el número de habitantes. La energía per cápita consumida es

un parámetro que ha sido muy utilizado en la medición del grado de desarrollo alcanzado por una sociedad. Dados los dramáticos acontecimientos ecológicos sucedidos en los últimos años, ya no se considera como una medida absoluta del grado de bienestar alcanzado. Sin embargo, bajo cualquier esquema que se tenga de lo que una sociedad debe alcanzar y bajo cualquier concepción de bienestar de sus habitantes, habrá una demanda energética que debe cubrirse con una oferta energética real, limitada por los recursos naturales, las leyes que los rigen, y por el estado actual de la tecnología. Es obvio, que si la demanda del modelo de desarrollo planteado supera la oferta limitada por los factores mencionados, el modelo, desde el punto de vista energético, no es viable con los recursos propios del país y se tendrá que acudir a la importación de energía de otros países que cuenten con un excedente de este recurso.

Antes de la revolución industrial, el 80 por ciento de los materiales que el hombre utilizaba eran de procedencia "renovable". Con la llegada de la revolución industrial se desarrolló la capacidad para transformar los recursos fósiles en calor, el calor en trabajo y éste en productividad industrial, en nuevas alternativas de transporte y en nuevos servicios. A partir de ese momento, el perfil de consumo de las sociedades se empezó a apartar de los recursos naturales renovables hasta llegar a la situación actual, donde la obtención de energía está basada principalmente en la combustión de estos recursos fósiles.

Si bien es cierto que la introducción de recursos fósiles para la generación de energía utilizable por el hombre, resolvió en su momento una crisis de recursos renovables (leña), la situación presente indica que se deben realizar cambios de dirección en los sistemas energéticos actuales, debido a los límites en la disponibilidad del petróleo y principalmente, a los límites que impone la capacidad del ambiente para absorber la gran cantidad de dióxido de carbono y de otros gases generados por la combustión de los recursos fósiles. Es conveniente recordar que ya se han detectado los primeros indicios sobre cambios climáticos debido al efecto "invernadero", causado por la acumulación de dióxido de carbono (y por otros gases, como el

metano) en la atmósfera.

Además de las consecuencias de las llamadas "crisis de petróleo", países como El Salvador sufren también a consecuencia de factores como la creciente demanda de energía, de la muchas veces olvidada "crisis de leña", que se manifiesta en una considerable deforestación y en el correspondiente impacto ambiental. De hecho, en los balances energéticos realizados por CEL se registra que la leña y los residuos vegetales constituyen alrededor del 50 por ciento del total de energía primaria (ver las figuras 1 y 2), mientras que el petróleo constituye el 30 por ciento y la energía hidráulica y geotérmica, el resto. Estos datos muestran la importancia que representa la leña como recurso energético en el país.

La solución al problema energético no es simple e implica mucho más que buscar fuentes alternativas o soluciones tecnológicas que aumenten la eficiencia de las transformaciones energéticas. Sin embargo, se puede afirmar que las direcciones que se pueden tomar para resolver el desequilibrio energético, desde una perspectiva tecnológica, son las siguientes: (a) producir más energía utilizable mediante la introducción de nuevos procesos o aumentar la eficiencia de los procesos de producción de energía; (b) ahorro energético mediante el aumento de la eficiencia de los procesos en donde se consume energía; (c) disminución del consumo energético con un consecuente cambio en la concepción de bienestar y, o desarrollo y (d) una combinación de los anteriores.

Debe tomarse en cuenta también que cualquier transformación de energía impactará el medio ambiente natural que sustenta el medio ambiente artificial, creado por el hombre para su "bienestar", por lo que es un factor de vital importancia considerar la conservación del medio ambiente natural como uno de los aspectos fundamentales al seleccionar las medidas a adoptar para la solución del problema energético. Una perspectiva más exacta del uso de la energía y de las alternativas existentes es cada vez más necesaria cuando se quiere establecer la capacidad de sobrevivencia humana en un sistema natural con recursos limitados.

Dado el relativamente pequeño consumo por

habitante que se da en El Salvador, es inevitable examinar las alternativas que permitan una mayor y más limpia producción de energía utilizable, aunque es conveniente reafirmar que el ahorro o la disminución en el consumo por parte de los sectores que actualmente se benefician más del uso de la energía, debe ser necesariamente parte de la solución del problema energético del país. En este sentido, la introducción de aquellas tecnologías que aumenten la eficiencia energética en un proceso productivo no deben verse como un costo innecesario, sino más bien como una obligación y una excelente inversión, recordando siempre que una parte significativa de los beneficios que pueden ser obtenidos por la introducción de nuevas tecnologías deben ser invertidos para posibilitar la sustentabilidad del proceso de desarrollo. Es conveniente recordar también que el actual perfil del consumo de energía está ligado a problemas estructurales que tienen que ser tomados en cuenta para que las estrategias que se sigan tengan el efecto deseado en la solución del problema energético.

Como una de las estrategias a mediano y largo plazo la transformación directa o indirecta de la energía solar irradiada, en formas utilizables de energía, toma un papel de creciente importancia. De hecho, actualmente la mitad de la población mundial usa como recurso energético la biomasa, obtenida por la transformación de la energía solar por medio de la fotosíntesis. Los avances realizados en biotecnología hacen aún más prometedor el uso de la biomasa o de los procesos fotosintéticos (aunque no el único), como fuente de energía utilizable.

En lo que sigue se considera biomasa como el resultado de la transformación del dióxido de carbono y agua en compuestos de alto contenido energético mediante el proceso de fotosíntesis. Una idea de la cantidad que esto representa se puede obtener de los datos de la Cuadro 1. Aunque aproximadamente desde 1979, los datos indican que el uso anual de energía representa aproximadamente sólo un décimo de la transformación fotosintética y que la energía almacenada como recursos fósiles es resultado de únicamente cien años de fotosíntesis. Esta captura masiva de ener-

gía solar se da con un rendimiento global aproximado del 0.1 por ciento y no es sorprendente que aún constituya la fuente de energía más utilizada por el hombre.

Durante el proceso fotosintético se pueden formar productos sólidos, líquidos o gaseosos, los cuales, a su vez, pueden ser directamente utilizados como combustibles, o biomasa que puede ser transformada en combustible y en otros productos por medio de procesos bioquímicos, microbiológicos y, o fisicoquímicos, como se muestra en forma simplificada en el Cuadro 2.

Como ya se ha mencionado anteriormente, la leña y los residuos agrícolas constituyen aún la fuente principal de energía utilizada por gran parte de la humanidad. El crecimiento de la población ha llevado a una demanda que supera la capacidad de regeneración de este tipo de biomasa, siendo una de las causas que ha dado lugar a la acelerada deforestación, que en el país ha alcanzado niveles alarmantes, con la consecuente erosión de las tierras y a un aumento del efecto "invernadero", pues no sólo se produce CO₂ durante la combustión, sino que además se disminuye la capacidad de fijarlo por medio de la fotosíntesis.

Para resolver el problema de suministro de biomasa para combustión se han sugerido soluciones tendientes a un aumento en la productividad de los cultivos. Sin embargo, esta solución ha implicado usualmente el uso de insumos agrícolas que representan también una "inversión" energética que establece un límite al rendimiento energético de cultivos determinados y que, por lo tanto, no constituyen una verdadera solución.

El cultivo de tejidos vegetales, la manipulación genética y otras técnicas pueden ser utilizadas para aumentar la productividad de la biomasa. Sin embargo, éstas tecnologías, al igual que todas las tecnologías, traen consigo un riesgo que debe ser evaluado junto con los beneficios que pueden ser obtenidos. Principalmente riesgoso puede ser introducir una especie, con información genética diferente a la que naturalmente posee, sin considerar las interacciones que va a tener con otras especies en el sistema ecológico correspondiente. Esta situación no sólo se da con especies genéticamente

modificadas, sino que también con la introducción de especies foráneas que son introducidas en un ecosistema en el cual no existían anteriormente, lo que puede causar un desequilibrio considerable en los sistemas ecológicos nativos. En este sentido deberían preferirse especies nativas en la producción de biomasa para la obtención de energía.

Una medida inmediata que podría y debería ser tomada, es estimular el uso de tecnologías que lleven a una utilización más eficiente de los procesos de combustión de biomasa ya sea para la producción de calor o de energía eléctrica.

La producción de alcohol a partir de biomasa (materiales lignocelulósicos, celulosa o azúcares fermentables) ha sido considerada por muchos como una solución para el problema del suministro de combustible líquido, dado que se puede utilizar directamente o en mezclas con gasolina en motores de combustión interna, adaptados para tal fin. Un programa de producción de alcohol a partir del azúcar de caña, tal como el que se lleva a cabo en Brasil, en países como El Salvador, no puede significar una solución total al problema energético, pues el cultivo de la caña de azúcar compite con la producción de alimentos por la poca tierra disponible. Mejores perspectivas ofrece la transformación de residuos agrícolas lignocelulósicos en alcohol, dado que éstos son producidos en gran cantidad y usualmente no son utilizados o son desperdiciados. Sin embargo, la transformación de estos residuos es costosa y poco rentable, debido a las dificultades asociadas a la separación de la lignina de los carbohidratos que pueden ser hidrolizados y fermentados para la producción de alcohol. La presencia de la lignina constituye una barrera al ataque de los agentes bioquímicos y, o microbiológicos involucrados en la producción de alcohol, por lo que tiene que ser separada, utilizando usualmente procesos físicos o químicos con un alto costo energético. Por este motivo, muchas investigaciones son realizadas con el objeto de mejorar la separación de la lignina y aprovecharla en la obtención de otros productos, de tal manera que el proceso de transformación de materiales lignocelulósicos pueda llegar a tener una mayor eficiencia global.

La producción de biogás y la pirólisis son

otros de los procesos de transformación de biomasa en combustible que siguen siendo objeto de estudio para mejorar su factibilidad en la solución del problema energético.

Durante los procesos fotosintéticos realizados por algunas especies son producidos aceites combustibles que pueden ser utilizados directamente o en combinación con combustibles fósiles. Más prometedor aún es la capacidad de muchos microorganismos de producir hidrógeno durante el proceso fotosintético. El hidrógeno es considerado por muchos el combustible del futuro, pues su combustión deja como residuo únicamente agua, que puede ser vuelta a utilizar en el proceso de producción del hidrógeno. Para que el uso del hidrógeno como combustible tenga sentido, la energía necesaria para disociar el agua en sus elementos, que necesariamente es mayor que la obtenida como hidrógeno, tiene que provenir de una transformación directa de la energía solar, ya sea por celdas fotovoltaicas o por el uso de microorganismos capaces de producir hidrógeno utilizando como fuente de energía la luz solar o algún sustrato proveniente del proceso fotosintético. En todo caso, el hidrógeno se plantea como una de las mejores alternativas a mediano y largo plazo para la solución del problema energético, por lo que algunos países invierten mucho esfuerzo en esta dirección.

En resumen, puede concluirse que el perfil mundial actual de consumo energético causa grandes problemas ecológicos que ponen en serio peligro la capacidad del medio ambiente para sustentar la existencia digna del hombre. En El Salvador, el problema se ve agravado por la limitada disponibilidad de recursos y por causas estructurales que tienen como consecuencia un uso poco racional de las diferentes fuentes de energía.

El establecer una política energética consecuente, que tome en cuenta la relación entre los flujos energéticos, el mantenimiento de un medio ambiente adecuado y el proceso socioeconómico, se vuelve cada vez más imprescindible y urgente, pues cada retraso aleja más la posibilidad de encontrar una solución viable y duradera. La implementación de medidas que estimulen y permitan el ahorro energético y la disminución del consumo,

el aumento de la eficiencia de los procesos de producción y de consumo de energía, del uso de digestores de biogás, de estufas mejoradas, de economizadores, de motores de alta eficiencia, de estrategias de control y monitoreo más efectivas, de alternativas viables al problema de transporte, etc., podrían adoptarse a corto plazo. Un cambio estructural que no base su viabilidad en el consumo de combustibles fósiles ni en el supuesto de una disponibilidad infinita y barata de energía, podría ser la meta a largo plazo de una política energética, que debería ser establecida por una instancia con suficiente capacidad, poder de decisión y que cuente con el respectivo apoyo político.

Hay que tomar en cuenta, pues, que no se puede alcanzar un desarrollo sustentable a base del consumo de recursos fósiles. Un aumento eventual en su consumo sólo puede justificarse si está concebido como una etapa intermedia, de corta duración, en la consecución de un sistema energético basado en el aprovechamiento directo o indirecto de la energía solar.

Mucho se puede especular de otras tecnologías nuevas posibles que se están investigando aún para obtener energía utilizable (la fusión nuclear, por ejemplo); sin embargo, no establecer los límites actuales para plantear el modelo de desarrollo de la tecnología sería equivalente a jugar una lotería.

La seguridad alimentaria, la conservación del medio ambiente natural y el aprovechamiento eficiente de los recursos naturales con que cuenta El Salvador, junto con el problema energético, son otras de las metas igualmente importantes y no necesariamente independientes entre sí, que implican la aplicación de avances científicos y tecnológicos y, por lo tanto, deberían considerarse en la formulación de una política de ciencia y tecnología que pretenda lograr un desarrollo sustentable.

F. Ch.

Notas

1. El Club de Roma nació en 1968 como consecuencia de la inquietud de varios intelectuales, que juzgaron conveniente crear un grupo independiente que re-

flexionara sobre la problemática mundial, considerada dentro del marco de las complejas interacciones entre las naciones, desde una perspectiva de largo plazo y con el objeto de lograr una mejor y más profunda comprensión de las relaciones entre los problemas políticos, científicos, sociales, culturales, psicológicos, tecnológicos y ecológicos. Su primera publicación *Las fronteras del crecimiento*, en donde se advertían las consecuencias de un crecimiento ilimitado sobre la disponibilidad de los recursos naturales, causó un gran debate sobre la relación entre crecimiento económico y sociedad. En su último trabajo *La revolución global* se tratan nuevamente los aspectos más importantes de la problemática mundial y se propone una estrategia de soluciones.

2. La política y programa regional de Ciencia y Tecnología fue presentada por la Comisión para el desarrollo científico y tecnológico de Centroamérica y Panamá para dar cumplimiento al numeral 13 del PAECA y al numeral 30 de la declaración presidencial de La Antigua.
3. Este proyecto se encuentra en una etapa de revisión y forma parte de un proyecto regional de desarrollo científico y tecnológico de los sectores productivos.
4. Tomado del artículo 5 (literal a) de la ley de creación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Decreto 287) aprobada por la asamblea legislativa, el 15 de Julio de 1992.

