



Tecnología, sociedad, sostenibilidad

Dr. Juan Llanes Regueiro *

En el presente artículo se vinculan estos tres conceptos que hoy estudian las ciencias sociales a veces con diferentes enfoques. El trabajo termina con la visión de cómo se cierra “el ciclo tecnológico desde el ángulo ambiental.”

Introducción

La tecnología revela la actividad del hombre ante la naturaleza, el proceso inmediato de producción de su vida y por consecuencia sus condiciones sociales y los conceptos intelectuales que de ellas brotan. ¹

TECNOLOGÍA es simplemente una fórmula o procedimiento para acceder a un determinado recurso y expandir este acceso al recurso, aunque también es plausible la definición que supone que es el conjunto de medios destinados a algún propósito específico. Pero la tecnología no crea recursos ni modifica la base natural de recursos. Por lo tanto, la idea que la tecnología puede permitir la creación de recursos es pura metafísica (para una interesante discusión véase “On the limits of Nature” de Woodwell de Repetto. También resulta aleccionador la indagación de Núñez, sobre las acepciones y definiciones. ²

* Profesor del Departamento de Desarrollo Económico de la Facultad de Economía, Universidad de La Habana.

La sierra permite acceder a la madera con una fracción menor de trabajo que el hacha, pero no aumenta la cantidad de madera o el ritmo de crecimiento del bosque. La “tecnología para la obtención de madera” en general es muy amplia y pasa por los estudios de los ingenieros forestales alemanes en el siglo XIX para determinar el “turno óptimo” para la corte hasta el diseño de diferentes métodos para el corte y el procesamiento:

El hecho de tener dos o tres veces más sierras y martillos no nos permite construir una casa con la mitad de la madera. Las sierras pueden sustituir la madera solo en un sentido excepcionalmente marginal ya que una sierra de mejor calidad tiene una hoja más delgada y afilada y un corte más fino, por lo que genera menos aserrín y así permite utilizar menos madera por casa construida, también una nueva prensa de aglomerado puede convertir el aserrín en tableros y lograr un mejor aprovechamiento del recurso.

La idea de que la tecnología se limita a la “Producción” de artefactos (una suerte de “Deus ex Machina”) es muy limitada, mientras por otra parte, la noción de “procedimiento” es más abarcadora y generalizadora.

Por un lado asumir que la tecnología es “producción de artefactos” renuncia por definición a considerar la evolución como un modelo de desarrollo tecnológico propiciado por los diferentes tipos de sistemas.

En segundo lugar, el enfoque de “producción de artefactos” (... la tecnología no se identifica con algunos productos ni tampoco con la ciencia aplicada, deja fuera del sistema tecnológico en cuestión aspectos vitales que lo caracterizan.

La reducción de azúcar de caña es posible no solo por el desarrollo de la tecnología industrial, la “fábrica de azúcar”, ya que es sabido de la existencia de los “trapiches” tradicionales artesanales movidos por tracción animal, sino más bien por la combinación de procedimientos semiartesanales e industriales con la tecnología agrícola y un sistema de transportación. No puede lograrse lo uno sin lo otro. Aquí se combinan un sistema tecnológico industrial con una tecnología agrícola y diferentes tecnologías de transportación en un “sistema tecnológico integrado” hasta un cierto punto. En el punto final del presente trabajo se estudia cómo cerrar este ciclo tecnológico desde el ángulo ambiental.

En su libro, Gruebler, considera que la tecnología consiste en lo esencial en la posibilidad de acceder a objetos manufacturados aumentando las posibilidades

de los seres humanos y permitiéndoles realizar actividades que no pudieran realizar de otro modo. Según Gruebler, tecnología es “hardware” para los ingenieros y “artefactos” para los antropólogos.

Siguiendo a este autor, las tres etapas esenciales en el desarrollo tecnológico son invención, innovación y difusión.

La primera consiste en la demostración de la posibilidad física de una nueva solución, la segunda es cuando una nueva técnica o material es descubierto y puesto en “producción” por primera vez, mientras que difusión consiste en la amplia reproducción de una técnica y su asimilación en un contexto socioeconómico, con lo cual se logra crear un nicho para reemplazar prácticas existentes. Sin embargo, Gruebler supone que accionar una cuenta bancaria o manejar un automóvil son también acciones “tecnológicas”.

Este tipo de enfoque, tan difundido contribuye a la creencia de que la tecnología “crea recursos donde antes no habían”.

Este aspecto constituye un elemento central del pensamiento moderno, consecuente con la idea de que la ciencia y la tecnología resolverán los problemas de la humanidad. El rasgo típico de este tipo de discurso o más bien *weltanschauung* es el “optimismo ideológico” que se sustenta implícitamente en la “Idea del Progreso” difundida ampliamente en el mundo occidental desde el Renacimiento y enraizada desde entonces en lo más íntimo de la cultura occidental.

Ser optimista no resulta una actitud que de por sí supone riesgo alguno; Cristóbal Colón fue un optimista que tenía razón, de haber estado equivocado su error habría tenido solo limitadas consecuencias desfavorables.

Consideraciones optimistas sobre el desarrollo, para alcanzar determinados objetivos económicos y sociales, sustentados en políticas tecnológicas pueden entrañar riesgos considerables. Tal es el caso de la clonación, cuyos resultados e impactos son aún impredecibles. Igualmente sucede con otras nuevas “tecnologías”, como la nuclear, la biotecnología y otras.

Una de las tecnologías aparentemente más prometedoras en el futuro parece ser la nanotecnología que supone la manipulación molecular y cuyas implicaciones más prometedoras están relacionados con sus vínculos con la primera ley de la termodinámica. Dar por sentado que con esta tecnología es posible lograr la inhibición de semejante ley es todavía pura especulación.

A este elemento primordial se agrega lo que Núñez denomina “una cierta concepción tradicional de la ciencia de raíz positivista (que) trae consigo el ocultamiento del carácter social de esta”. Si bien la relación ciencia-tecnología-sociedad es sumamente importante y reveladora, el énfasis en el aspecto social que tantos investigadores han propiciado no debe sesgar la información acerca de las características del mundo en que vivimos: finito, con dotación limitada de energía y todos los materiales dentro del sistema.

El presente trabajo forma parte de diferentes ensayos e investigaciones relacionados con la tecnología y la sostenibilidad.

El trabajo se inicia con una reflexión acerca de las implicaciones sociales cuando las prácticas tecnológicas eran el resultado de largos procesos de observación, prueba y error. Era la época “épica” del descubrimiento y dominio del fuego, esencial para dominar otras tecnologías como el acceso a los metales, las artes militares y la elevación del nivel de vida. Es también la época de la introducción de la rueda, como resultado de la aplicación a la transportación de las observaciones del movimiento circular uniforme del alfarero. La rueda supuso un importante aumento en la productividad, duplicando la capacidad de carga posible de transportar con el mismo gasto de energía.

La agricultura es sin duda una de las innovaciones tecnológicas más importantes en la historia, debido a sus implicaciones sobre la capacidad de sustentación y el surgimiento de una estructura social estable con el primer “excedente” material.

Posteriormente el trabajo deriva hacia el vínculo tecnología-economía-sostenibilidad incluyendo un análisis de las barreras en la introducción de nuevas tecnologías y el Cambio Tecnológico Inducido. Al final se presenta el resumen de un estudio sobre la asimilación de nuevas tecnologías en el campo de la energía.

Impacto social de la tecnología: la agricultura: una lección de ecología humana

Durante siglos, el hombre obtuvo su alimento como el resto de los animales, es decir, como cazadores y recolectores, era por lo tanto totalmente dependiente de la energía solar, transformada por la naturaleza. Habrían de transcurrir 50 000 años hasta que el hombre descubriera el procedimiento para acceder al fuego y utilizar la madera como fuente de energía para alumbrarse, cocinar y defenderse.

Hace aproximadamente 10 000 años el hombre, tras un largo proceso de prueba y error, descubrió la agricultura de forma simultanea en diferentes partes del mundo, probablemente en China, la India, Mesopotamia, Egipto y el Noroeste de América del Sur.

La capacidad de sustentación (cantidad de población humana que puede subsistir en un espacio determinado) en las sociedades recolectoras y cazadoras estaba determinada exclusivamente por la oferta natural ya que el hombre dependía casi exclusivamente de su energía soportal (energía endosomática. La oferta natural está determinada por la producción primaria neta (PPN), que es la cantidad de energía solar que las plantas fijan por medio de la fotosíntesis, medida en términos de gramos de materia seca por hectárea. En su estado original, adicionalmente a las plantas verdes, la oferta natural se compone en un 88 % de microorganismos, gusanos y artrópodos, 2 % de aves y mamíferos y 10 % de otras especies. Esta dotación original no puede ser modificada.

La estructura de la oferta está determinada por el lugar que ocupa cada grupo en la cadena trófica y por la termodinámica del ecosistema.

Bajo este marco y tomando en consideración que el ser humano necesita 2 000 kcal diarias para subsistir, cada ser humano necesita entre 40-150 has para sobrevivir en dependencia del tipo de hábitat. En condiciones marginales (zonas árticas), donde la PPN es menor, la capacidad de sustentación es mínima, 14 000 ha por persona.

Esto significa que para un territorio como el de la isla de Cuba, un hábitat favorable, en la fase cazadora-recolectora, la máxima capacidad de sustentación del archipiélago ascendía a unas 280 000 personas.

En esta etapa, la existencia humana está condicionada exclusivamente por la oferta natural y sus oscilaciones: el hombre forma parte de una cadena trófica igual que el resto de los animales, si esta se modifica la supervivencia está determinada por la capacidad de adaptación. El excedente es provisional y fortuito, solo se obtiene por medio de la recolección y la caza.

El tránsito a la sociedad agrícola es lento y en etapas, de las cuales pueden distinguirse cuatro:

- Primera etapa: después de un período de observación y aprendizaje por medio de prueba y error en la cual se logra comprender la relación existente entre la semilla y su fruto, la siembra se realiza sin atención,

la vida continua siendo nómada. Solamente una pequeña parte del sustento se obtiene de la agricultura.

- Segunda etapa: El cultivo se expande sobre la base del trabajo humano y la alianza con la naturaleza hasta representar la mayor parte del sustento. Se originan los primeros asentamientos de forma aún precaria. Si las condiciones son favorables, se origina el primer excedente de energía (exosomática. Surgen los primeros no agricultores y la primera estructura social estable).
- Tercera etapa: Se combina el trabajo humano y el animal por medio de la domesticación, utilizando alimentos y tierras marginales. Aumenta el rendimiento.
- Quinta etapa: Agricultura moderna, substitución del trabajo animal y humano por (energía) maquinaria, uso intensivo de fertilizantes químicos.

La segunda etapa es trascendental, en ella se concentra el impacto social de la tecnología. Primero, la capacidad de sustentación que anteriormente era de 40-150 hectáreas para una persona ahora se modifica; con la tecnología agrícola es posible sostener 3 personas por hectárea. Las posibilidades de aumentar la población están dadas. Segundo, esta posibilidad de obtener un excedente material en términos de energía-alimentos supone que solamente una parte de la población debe dedicarse directamente a obtener el sustento. Surge por primera vez el conflicto de distribución: ¿Quién se dedicará al trabajo agrícola y quién será guardián? ¿Cuánto corresponde a cada cuál? Es necesario agregar que la agricultura es posible debido en lo fundamental a la cantidad de energía propia que las plantas dedican a garantizar su reproducción, que alcanza hasta un 25 % del total disponible por ellas.

El cálculo de la productividad energética puede realizarse ahora teniendo el rendimiento debido a que el denominador es comparable. El problema básico reside en el insumo de energía animal. Si este proviene de las áreas cultivadas y por lo tanto una parte de la cosecha se destina al consumo animal debe descontarse del total de la producción. Si proviene de tierras no sometidas al uso agrícola entonces no es necesario tomarlo en cuenta. Esta combinación hombre/buey permite por ejemplo, ampliar el cultivo a especies no alimenticias para satisfacer nuevas necesidades sin disminuir la producción de alimentos.

Los grandes avances en las sociedades humanas han estado generalmente vinculados al acceso a nuevas fuentes de energía (la agricultura, el acceso a combustibles fósiles por ejemplo) o al control de micro depredadores mediante nuevas tecnologías, esencialmente de la salud.

El problema de cuánta tierra es posible dedicar a la agricultura y utilizar en beneficio de la especie humana supone el límite de sostenibilidad. Según Woodwell, basado en Vitusek et.al, en 1986, con 5 200 millones de habitantes, la humanidad desviaba el 40 % de la PPN para uso humano, una duplicación del número de habitantes no podría suponer la duplicación de la utilización de PPN: Los sistemas naturales colapsarían ante semejante intrusión.

Funciones económicas de la tecnología

Marx conocía la tendencia a confundir tecnología y economía por eso afirmaba sabiamente “pero la Economía Política no es la tecnología”.³

La relación entre lo que entra y lo que sale en un proceso de transformación está regulado por la tecnología, no por la economía, así que hablar de costos supone un efecto eminentemente tecnológico y menos económico.

Es conveniente recordar además que los coeficientes matriciales del balance *input-output* son llamados con razón “coeficientes tecnológicos”. La economía comienza con la decisión de la opción tecnológica adecuada para un proceso de transformación y los materiales que deben ser empleados, no con la transformación misma.

Si existe una administración adecuada de los recursos en juego, los costos de la obtención de azúcar de caña serán el resultado de la tecnología empleada; no hay aquí pues “eficiencia económica” sino tecnológica. Dada una cantidad a producir, la economía continúa accionando cuando la producción se distribuye por planta de forma que los costos marginales de cada una sean iguales, es el principio maximizador aplicado consecuentemente.

Claro que no siempre es posible efectuar una distribución atendiendo solamente a elementos económicos, aquí influyen además otros factores y compromisos de carácter político y social.

La economía juega un importante papel además, al definir cantidades totales que deben ser producidas en función de precios, demanda, etc., no las que pueden

técnicamente producirse. Economía es la elección entre opciones, mientras que la tecnología es el método para alcanzar un fin determinado.

Las funciones económicas “convencionales” de la tecnología pueden resumirse de la forma siguiente:

1. La más importante consiste en maximizar los aumentos de producto por unidad de tiempo de labor in situ.
2. Reducir los costos monetarios de la extracción de materiales, materias primas y combustibles, y reducir los gastos en el uso de estos por unidad de producto terminado.
3. Desarrollar nuevos bienes y servicios, en ocasiones reemplazando los ya existentes.

Las funciones e impactos sociales de la tecnología son más complejos. El caso examinado en el primer acápite genera un impacto sobre la sociedad que modifica la forma de vida y la estructura misma de la sociedad. En otros casos se pueden originar cambios en las instituciones, en la estructura económica con repercusión regionales y locales, en la educación y formación (tecnología de la información).

En los últimos años, la economía se ha vinculado más estrechamente a las tecnologías que permiten apartarse de patrones insostenibles de producción y consumo, especialmente en la energía. Aquí es necesario ganar en claridad.

La tecnología permite reducir el consumo por unidad de consumo, pero no las unidades de consumo, ni la expansión del consumo.

Veamos el siguiente cuadro, donde por problemas de espacio se efectúa una representación esquemática de varios factores que generalmente, accionan de forma conjunta:

Políticas y acciones que aumentan la presión sobre los recursos	Políticas y acciones que reducen la presión sobre los recursos
<ul style="list-style-type: none">? Aumento de la población.? Aumento de la esperanza de vida? Aumento de las opicones de consumo.? Expansión tecnológica (innovaciones).	<ul style="list-style-type: none">? Desarrollo tecnológico.? Cambio tecnológico y CTI.? Políticas económicas flexibles.? Cambios en estilo de vida.? Cambios en patrones de consumo.

Mientras que el desarrollo tecnológico permite reducir la cantidad de combustible por unidad de producto (generación de electricidad), el cambio tecnológico permite acceder a otros combustibles menos contaminantes y a recursos energéticos renovables. En este último sentido se mueve la economía hacia la sostenibilidad.

Es posible afirmar como una regla que las economías se mueven hacia la sostenibilidad cuando propician el tránsito hacia el manejo de recursos renovables acorde con su capacidad de carga y con poblaciones humanas estables, lo cual supone un determinado tipo de estado estacionario.

Las políticas económicas permiten eliminar barreras (véanse los instrumentos de flexibilidad del Protocolo de Kyoto) mientras que la educación permite cambiar patrones y estilos de vida, y consumo. Determinadas políticas e instrumentos económicos promueven la eficiencia estática y dinámica, y la introducción de innovaciones tecnológicas. Para una discusión y explicación.⁴

Pasemos ahora a otro aspecto medular de las políticas tecnológicas.

Tecnología: el problema de la asimilación de nuevas tecnologías y las barreras de implementación

El problema de la asimilación de nuevas y prometedoras tecnologías es un tema delicado. En general existen múltiples barreras que impiden que puedan generalizarse los potenciales tecnológicos. Existen diferentes fórmulas y oportunidades para eliminar barreras por medio de proyectos de transferencia, programas tecnológicos e instrumentos financieros. Acciones de este tipo son capaces de eliminar varias barreras simultáneamente, su implementación puede requerir políticas públicas, medidas administrativas y diferentes instrumentos. El potencial socioeconómico está generalmente entre el potencial económico y el potencial tecnológico.

Aunque se ha alcanzado un progreso técnico relevante en general, que ha evolucionado más rápidamente que lo esperado, existen múltiples barreras y limitantes para su aplicación exitosa.

El problema del estudio de las barreras tecnológicas y su eliminación es un aspecto que demanda cada vez mayor atención debido al impacto potencial de los cambios tecnológicos. Aunque existe hoy en día relativamente poca literatura al respecto, este aspecto de conjunto con la transferencia de tecnología se constituyen en elementos de vital importancia para hacer las sociedades más sostenibles.

POTENCIAL	BARRERAS
Potencial físico: Supuesto límite superior que puede ampliarse con el tiempo	
Potencial tecnológico: Implementación de tecnología cuya factibilidad ha sido demostrada	Restricciones a la disponibilidad y conocimiento de nuevas tecnologías
Potencial socioeconómico: Influido por cambios en las conductas, estilos de vida, valores, intereses particulares e instituciones	Normas sociales, hábitos individuales, estructuras sociales, actitudes
Potencial económico: Influido por los mercados, eliminación de fallas en los mercados, decisiones de política económica y fiscal, y transferencia tecnológica y de financiamiento	Débil competitividad, subsidios en el comercio, derechos de propiedad sin definir, información inadecuada
Potencial del mercado: Uso actual de tecnologías y prácticas ambientalmente aceptables, potencial alcanzado	

Fuente: IPCC, *Climate Change 2001*, Informe de Síntesis.

El cambio tecnológico inducido

La economía coadyuva al cambio tecnológico ofreciendo importantes recompensas a las invenciones que suponen el alcance de una ventaja competitiva. Estas ventajas son celosamente protegidas de diferentes formas.

Adicionalmente muchas personas e instituciones actúan activamente en el campo de la invención y la expansión del conocimiento aún sin la probabilidad de alcanzar una ventaja económica.

La época de las innovaciones tecnológicas casuales o inducidas por fenómenos sociales o por la investigación científica pura ha pasado. Durante las últimas dos décadas, los analistas se han interesado crecientemente en el potencial y las fórmulas para estimular el cambio tecnológico por medio de diversas formas.

El cambio tecnológico resultado de políticas públicas es generalmente llamado Cambio Tecnológico Inducido (CTI). Estas políticas se componen de impuestos, subsidios, mandatos tecnológicos y otras políticas gubernamentales estrechamente vinculadas con la investigación y el desarrollo.

Hay cuatro aspectos esenciales de CTI:

1. Dado un objetivo determinado de política tecnológica, ¿cuál es el impacto del CIT sobre los costos?
2. ¿Cuál será la influencia del CTI sobre el momento de la introducción y difusión de una nueva tecnología, o sea, es posible esperar un desarrollo más acelerado?
3. ¿Cuál es el impacto de anunciar determinados cambios o políticas tecnológicas por adelantado? ¿Contribuye esta medida a reducir los costos de estas políticas?
4. ¿Cuál es el instrumento adecuado para propinar el CTI, cómo influyen el entorno económico, social y cultural sobre la selección de determinados instrumentos para propinar el CIT?

Como puede apreciarse, el aspecto esencial está relacionado con la reducción de costos. Esta reducción puede alcanzarse por dos vías. La primera es la Investigación y Desarrollo (I&D), la segunda es “aprender haciendo”. La primera esta relacionada con el aumento de inversiones en esta dirección para desarrollar nuevos procesos y aumentar el conocimiento sobre nuevas alternativas tecnológicas, mientras que la segunda se relaciona mayormente con la adopción de procesos de producción o productos, inicialmente a pequeña escala, que normalmente no hubieran sido implementados o producidos. En la medida en que se gana experiencia es posible reducir costos.

Cuando el CIT ha sido el resultado de la I&D, el “efecto interno neto” es la reducción de costos que experimenta una firma como resultado de sus propios compromisos en I&D excluyendo los costos sociales (por ejemplo si hay subsidios importantes), la palabra “neto” se debe al hecho de que los resultados en un sector de la economía, pueden ser acompañados por impactos (costos o beneficios) en otros sectores.

El “efecto neto de diseminación por I&D” está relacionado con la imposibilidad de impedir la diseminación de los resultados positivos alcanzados por una firma en I&D hacia otras entidades. Desde el punto de visto social esta reducción de costos es adicional a la reducción alcanzada por la firma que ejecutó o financió la investigación.

El efecto neto interno de “aprender haciendo” incluye la palabra “neto” porque una innovación genera impactos sobre otros sectores de la economía, posiblemente generando en algunos, una reducción de sus ventas.

Al igual que el efecto diseminación por resultados en I&D “aprender haciendo” genera igualmente un efecto diseminación cuyos impactos pueden ser positivos y negativos.

De esta forma, los componentes de la reducción de costos serían los siguientes:

Cambio tecnológico sustentado en I&D	Cambio tecnológico sustentado en “aprender-haciendo”
Efecto neto interno de la I&D ? Valor presente de la reducción de costos originado por los aumentos netos en I&D, menos el costo social de la I&D	Efecto neto interno de “aprender haciendo” ? Valor presente de la reducción de costos inducida de los aumentos netos en experiencia y aprendizaje
Efecto neto de la diseminación de I&D ? Valor presente de la reducción de costos proveniente de la diseminación neta asociada a aumentos netos inducidos en I&D	Efecto neto de la diseminación por “aprender haciendo” ? Valor presente de la reducción de costos de la diseminación neta asociada a aumentos netos inducidos en experiencia

Por último cabe mencionar los diferentes instrumentos de política tecnológica utilizados internacionalmente. Estos son:

- a) La acción directa del gobierno en I&D.
- b) El apoyo directo o indirecto a la comercialización y producción.
- c) El apoyo indirecto al desarrollo
- d) El apoyo al aprendizaje y difusión del conocimiento y la tecnología.

El primero puede desarrollarse por medio de contratos a firmas e instituciones privadas, a universidades, a desarrollarse en instalaciones propias del gobierno o por medio de políticas mixtas. El segundo se relaciona esencialmente con impuestos, subsidios, créditos y protección sobre patentes. El tercero fundamentalmente con la concesión de proyectos piloto o demostrativos, mientras que el cuarto, se relaciona más con el entrenamiento y la educación, el establecimiento de normas, la difusión del conocimiento y la publicidad, persuasión e información al consumidor.

Evaluación de opciones tecnológicas: el caso de la biomasa cañera

El presente acápite constituye un resumen de una investigación más amplia realizada en el marco de la segunda fase de los estudios publicados en el 2003 para analizar las opciones de políticas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

El objetivo de la investigación era demostrar las ventajas de utilizar la biomasa cañera como una posible alternativa en un escenario de mitigación de emisiones de estos gases.

Es sabido que el contenido energético de la caña de azúcar es notablemente alto y ha sido estimado por varios autores desde hace muchos años. Larson (Larson et al., 2001) refleja que para el valor calorífico superior (VCS) es de 18,8 GJ/t y para la paja es de 17,0 GJ/t, ambos en términos de materia seca; teniendo en cuenta las condiciones existentes normalmente en la industria azucarera (50 % humedad), el contenido energético total del bagazo y la paja sería de 17,9 GJ/t; eso representa alrededor de 1 tep —tonelada equivalente a petróleo— por cada tonelada de azúcar fabricada, sin incluir, las mieles ni otros derivados. Estudios anteriores (Llanes, 1994) indican que a razón de 54 t/ha la caña de azúcar muestra un potencial equivalente a 13,5 tep/ha.

La Tecnología en cuestión tiene poderosos atractivos, primero, existe una gran experiencia y tradición en nuestro país en la generación de electricidad con bagazo con tecnologías de baja presión donde es posible alcanzar hasta 30 kwh. por tonelada de caña molida, las capacidades instaladas en el país hasta la reorganización de la agroindustria ascendían a 800 MW, 1,6 veces la capacidad de generación de la Termoeléctrica de Felton. Este tipo de tecnología permite acceder a la electricidad sobre la base de biomasa y producir combustibles líquidos como ha demostrado la experiencia de Brasil, lo cual resulta estratégico.

Las desventajas son palpables, los costos actuales en números redondos ascienden a 2 100 y 1 500 USD/kwe respectivamente según la tecnología, además de innumerables barreras institucionales, de tradición, conocimiento e intereses.

Desde el punto de vista ambiental, existen nuevos incentivos, la tonelada de carbono dejada de emitir y convenientemente certificada alcanzará pronto

más de 20 USD en el mercado internacional como resultado de lo previsto en el protocolo de Kyoto y sus mecanismos de flexibilidad.

La tecnología se sustenta en lo siguiente:

Todo el bagazo se genera en el ingenio como resultado del proceso industrial azucarero —y se quema en las calderas de la fábrica en un ambiente actual de muy baja eficiencia diseñado para su incineración total y no para aprovechar su potencial— mientras la paja queda mayoritariamente en el campo (o es separada de la caña en estaciones de limpieza “centros de acopio”, o sea se gasta energía para “botar” energía) y también se incinera por razones de seguridad, pero sin aprovechar su contenido energético en forma alguna.

Elevar la eficiencia en el empleo de la biomasa cañera constituye por lo tanto una razonable posibilidad porque se trata de una posible dirección estratégica del desarrollo. Aprovechar esa potencialidad pudiera ser además una de las mejores políticas de mitigación a largo plazo; aquí de nuevo se da la posibilidad de combinar las medidas de mitigación con otras decisiones importantes para el desarrollo industrial y socio-económico, con lo que el costo de tales medidas pudiera llegar a hacerse negativo.

Si bien la tecnología empleada para la cosecha de caña actualmente enfatiza la separación del tallo de las hojas, que aporta importantes beneficios, aunque no todavía completamente cuantificados, pudieran obtenerse mediante el cambio tecnológico referido a la cosecha y la molida integrales, teniendo en cuenta también la posible introducción de variedades cañeras para producir más biomasa que azúcar.

Ese cambio tecnológico sería muy importante en el contexto caribeño porque en la región existen considerables experiencias y tradición con la producción de la caña de azúcar y la dependencia del petróleo importado es alta. Así, la introducción del cambio contribuye favorablemente a la sustentabilidad de los pequeños estados insulares. Como dijera un valioso economista cubano: “lo mejor que pudiera hacerse con el petróleo es dejarlo donde está”.

El estudio realizado tiene como antecedentes varios trabajos de González Alonso, Edgardo, (1968, 1981), Gómez-Jiménez, Wilhelm y Torres-Martínez, Julio (1992), Torres-Martínez, Julio (1992 a, b, c), (1993), (1996), (2001), etc., Menéndez, Alfredo (1999) y también en Larson et al., (2001) y se concentra en la introducción de la tecnología TVEC (turbinas de vapor de extracción-condensación) para aumentar la eficiencia de la generación de electricidad

en los ingenios, empleando el análisis costo-beneficio para compararla con la termoeléctrica convencional y una primera aproximación al análisis financiero. La introducción de la tecnología BGI/TGCC (biomasa gasificada integrada con turbinas de gas en ciclo combinado) solo es considerada muy preliminarmente, sin una discusión extensa, sobre todo porque todavía no se oferta de forma comercial y no existen datos reales sobre sus costos.

El análisis costo-beneficio emplea cinco alternativas para su comparación:

1. Termoeléctrica convencional basada en petróleo crudo nacional, 800\$/kWe en costos de inversión, y gastos de O&M para producir solo electricidad (escenario base).
2. Tecnología TVEC (instalada en ingenios capaces de moler 7 000 toneladas de caña diariamente con consumo de vapor reducido), basada en biomasa cañera (la paja recogida mediante la cosecha integral), 2 197\$/kWe en costos de inversión y gastos en O&M para producir electricidad y azúcar, con 0 \$ como costo del bagazo (escenario alternativo).
3. Tecnología TVEC, otros parámetros como en 2, pero con 5 \$ la tonelada de bagazo como costo de oportunidad (escenario alternativo-bagazo).
4. Tecnología TVEC (instalada en ingenios modernizados capaces de moler 15 000 toneladas de caña diariamente, más una destilería de etanol, ambos con consumo de vapor reducido y otros parámetros como en 3), 1 500 \$/kWe en costos de inversión y gastos en O&M para producir electricidad, azúcar y alcohol (escenario alternativo-coloso).
5. Parámetros iguales a los de la alternativa 4, pero incluyendo como beneficio adicional la comercialización de los Certificados por las emisiones evitadas de CO₂ a partir de la electricidad y el etanol, usando el precio de Oferta de los Países Bajos, muy reducido, aunque ilustrativo de la importancia de esa fuente de financiamiento (escenario alternativo certificado).

Los datos básicos son los siguientes:

La capacidad generadora de electricidad instalada en las cinco alternativas es 270 MWe y trabaja con un factor de carga del 85 % a fin de compararlas con las mismas posibilidades para producir esa energía; la tecnología de TVEC trabaja durante 300 días anuales, la zafra dura 180 días, el rendimiento de azúcar 13 %, destilería de etanol capaz de producir anualmente alrededor

de un millón de hectolitros (porque se anexa a un ingenio capaz de moler 15 000 toneladas diariamente).

Los resultados aparecen expresados en términos del Valor Actual Neto —VAN— (en millones de USD) y del costo promedio del kwh, el azúcar y el alcohol producidos durante toda la vida útil de las instalaciones:

Costo promedio del:				
	VAN	kwh (USD/kwh)	Azúcar (USD tm)	Alcohol (USD/hl)
ALTERNATIVA 1	27	0,0371	NA	NA
ALTERNATIVA 2	359	0,0139	72,9	NA
ALTERNATIVA 3	269	0,0231	54,4	NA
ALTERNATIVA 4	554	0,0213	32,5	2,7
ALTERNATIVA 5	600	0,0203	31,5	2,6

Para el escenario de mitigación se utilizó una tasa de progreso técnico del 10 % para la tecnología TVEC y 1 500 \$/kwe para la primera unidad. Esta hipótesis supone alcanzar una tecnología madura comercialmente al instalar la 15ta unidad, con un costo incremental total del orden de 945 millones de USD, por tanto, el costo unitario de inversión a partir del 15to bloque sería de 750 \$/kwe instalado, inferior al costo supuesto para CTE petroleras en el escenario base. Una reducción del costo en un 50 % para las unidades a partir de la 15ta en adelante, es posible tomando en consideración (Larson et. al., 2001):

- La eliminación de la ingeniería especial.
- Las mejoras tecnológicas incrementales.
- La eliminación de contingencias no programadas.
- El aumento del tamaño del módulo hasta 90 MWe (Larson usó módulos de 60 MWe).
- La fabricación de los equipos fundamentales con recursos nacionales, así como también la gerencia de los proyectos.

La construcción de una unidad demostrativa de TVEC con 30 Mwe o menor, anexa a un ingenio con capacidad de moler 15 000 toneladas diarias

de caña, operando con la cosecha y la molienda integral constituye un paso importante, así como estudiar en la organización del proceso necesario para fabricar nacionalmente los equipos fundamentales y dirigir los proyectos, a fin de reducir los costos de importación y la dependencia externa de la tecnología TVEC.

Notas

¹ C. Marx: “El materialismo histórico”, en *El Capital*. Vol. III.

² Véase J. Núñez: *La ciencia y la tecnología como procesos sociales*, pp. 14-20.

³ C. Marx: “Introducción a la crítica de la Economía Política”, en *Histoire de antiquedad*. T. I., p. 731.

⁴ Ver J. Llanes: Políticas económicas ambientales: *El caso contaminación*, pp. 78-94.

Bibliografía

- Alic, J. A.; Mowery, A. C.; Rubin E. S.: *U.S. Technology and Innovation Policies*. Pew Center on Global Climate, Change, 2003.
- Daly, H, Cobb, A.: *For the Common Good*. Beacon Press. 1994.
- Goulder, H. Lawrence: *Induced Technological Change and Climate Policy*, Pew Center on Global Climate Change, 2004.
- Gruebler, A.: *Technology*. IIASA, Edward Elgar Publishing, 2003.
- Gruebler, A., Nakicenovic, N.: *Technology and The Environment*. IIASA, Edward Elgar. Publishing, 2005.
- Llanes, J.: *Políticas Económicas Ambientales: El caso contaminación*. Ciencias Sociales, 1999.
- _____: “Balance energético de la agroindustria azucarera”. Trabajo presentado en el Taller Internacional de Economía Ambiental, Kingston, Jamaica, Universidad de Naciones Unidas. 1994.
- _____: (Ed.) *Segunda Fase de Estudios Nacionales para la Reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero*. Instituto de Meteorología, Grupo Nacional de Cambio Climático, 2003.
- Marx, C.: “Introducción a la Crítica de la Economía Política”, en *Historia de la Antigüedad*. Tomo 1, Unidad III, Escuela de Historia, Facultad de Humanidades, Universidad de La Habana, ICL, 1972.
- Núñez, J.: *La Ciencia y la tecnología como Procesos Sociales*, 2004.
- Pimentel, D. y Carl W. Hall: “Food and Energy Resources”. Academic Press, INC, 1984.
- Proccedings from IPCC Expert Meeting on INdustrialTechnology Development, Transfer and Diffussion, September, 2004, Tokyo, Japan, Versión Digital.
- Repetto, R.: *The Global Possible*. World Resources Institute, Yale University Press, 1984.
- Watson, R. T.: *Climate Change 2001: Synthesis Report*. Cambrdige University Press, 2001.