

Ciencia y tecnología para una comunidad rural

MARCO ANTONIO MARTÍNEZ NEGRETE
Grupo de Energética, Facultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México

Recibido el 8 de noviembre de 1991; aceptado el 22 de abril de 1992

RESUMEN. Tanto el deterioro de las condiciones humanas y ambientales, como la desconexión de los eslabones de la cadena ciencia-técnica-aplicaciones en nuestro país, estimulan la elaboración del presente proyecto de campo sobre sostenibilidad y difusión de las llamadas tecnologías apropiadas en una comunidad purépecha del estado de Michoacán. Se analizan las limitaciones y oportunidades de constitución de las masas críticas necesarias para lograr la sostenibilidad y la vinculación entre la ciencia y sus aplicaciones sociales, sobre todo en el campo de la energía y el bosque.

ABSTRACT. The deterioration of both the human and environmental conditions on one side and the unintegrated connection between the sciences, techniques and their application in our country, on the other side, stimulate the present project about sustainability and diffusion of so called appropriate technologies on a Purepecha village in the state of Michoacan. Opportunities and limitations of critical mass constitution around sustainability and social applications of science are analysed, specially in the energy sector and the forest.

PACS: 89.20.+a; 89.30.+f; 89.60.+x

Nadie sabe todavía cuál es el número óptimo en la especie humana: el equipo analítico requerido para contestar a esta pregunta debe aún desarrollarse.

Lovelock [1]

1. INTRODUCCIÓN

La humanidad enfrenta límites ecológicos y políticos resultantes del uso intensivo y generalizado de recursos no renovables (petróleo, gas natural, carbón y uranio en el sector energético). Estos límites se ejemplifican en la destrucción reciente de vidas humanas, ecosistemas y estructuras económicas en la región del Medio Oriente, por causa del petróleo; o en Ucrania, Bielorrusia, Rusia y otras partes del mundo, por causa de la nucleoelectricidad. También, los recursos potencialmente renovables (siendo la biomasa uno de los principales) parecen estar sometidos a un proceso de explotación que, por propia naturaleza, afecta irreversiblemente la base renovable de su regeneración (como es el caso de los bosques en los países del llamado Tercer Mundo por la tala inmoderada, o en los del Primer Mundo por la lluvia ácida).

En México la degeneración de las condiciones humanas y ambientales se profundiza por un curso acelerado de centralización, mediante el cual el campo continuamente se empobrece de gente y recursos en favor de los grandes centros industriales y urbanos del país y del extranjero. El esquema se apoya en el consumo ineficiente e intensivo de preciosos recursos no renovables, en su mayor parte en forma de petróleo y gas natural (juntos constituyen cerca del 90% del suministro total nacional de energía primaria).

Por otro lado, la actividad científica nacional (particularmente en física) parece, de acuerdo con sus practicantes [2], estar alejada (al menos en forma directa) de la resolución de los problemas humanos y ambientales que apuntamos. Consecuentemente es necesario explorar posibilidades de un mejor manejo del ambiente, a modo de evitar los problemas socioecológicos que aquejan al planeta por doquier. En particular, es un imperativo el tránsito de las fuentes no renovables de energía a las renovables, si el mundo pretende evitar una violenta disrupción política y ecológica resultante del agotamiento contextual (es decir, no necesariamente físico) de los recursos. La actividad científica mexicana en física, a no dudarlo, tiene un papel que jugar en la resolución de los problemas del tránsito de unas tecnologías energéticas a otras.

Parece que los esfuerzos debieran tener alta prioridad en donde la situación es más desesperada, *i.e.*, en el campo. Por esta razón, el Grupo de Energética (GENE, en adelante) de la Facultad de Ciencias de la UNAM ha conducido desde 1985 un modesto proyecto sobre satisfacción de necesidades humanas con recursos naturales procesados por medio de las llamadas tecnologías apropiadas (TA, en lo que sigue). El proyecto fue apoyado económicamente en sus orígenes casi a partes iguales por la UNAM y el International Development Research Centre del gobierno de Canadá; en la actualidad sólo la ayuda económica del IDRC subsiste.

El proyecto se planteó metódicamente en tres momentos, integralmente diseñados para responder al siguiente grupo de preguntas:

- i.* ¿Cuáles, para qué, cómo y para quién se necesita procesar recursos?
- ii.* ¿Cuáles son los recursos renovables de la región?
- iii.* ¿Cómo pueden ser satisfechas las necesidades de procesamiento de recursos, solamente con los renovables?

Con el doble propósito de propiciar las aplicaciones técnicas propuestas, resultantes del estudio de los tres momentos anteriores, y el de establecer un vínculo entre la comunidad rural escogida y la institución académica (UNAM, a través del GENE), se empezó la construcción del Centro Regional de Tecnología Apropiada (CRETA, en lo sucesivo), dentro de los límites del pueblo de Cheranástico, Mich., donde el proyecto aun prosigue.

2. LAS NOCIONES DE TECNOLOGÍA APROPIADA Y SOSTENIBILIDAD

Estas nociones pretenden hacer frente a los modos actuales de civilización, los que por sus características depredatorias reconocidas han obligado a todos los gobiernos del mundo a tomar cartas en el asunto para explorar formas nuevas de relación humanidad-ambiente, a modo de acceder al desarrollo económico pero sin destrucción irreversible de la naturaleza. Estos temas son la agenda de discusión de la próxima conferencia mundial sobre el ambiente, que plantea para junio de 1992 en Brasil la Organización de las Naciones Unidas. Sus antecedentes inmediatos son el informe de la comisión Bruntland [3] y la primera conferencia mundial sobre el tema en 1972 en Suecia.

En 1972, en Suecia, se llamó la atención sobre la imposibilidad de continuar el camino civilizatorio por la misma vía de la destrucción irreversible de los ecosistemas para el

beneficio de una minoría, en detrimento de una gran mayoría de pobres subnutridos sin acceso a las oportunidades del bienestar. Quince años más tarde la comisión Brundtland de la ONU pretende arrojar un rayo de esperanza sustentando la tesis de que se puede alcanzar el bienestar social de los humanos en el planeta si: a) éste se administra democráticamente; b) la riqueza se distribuye equitativamente y, c) se crece económicamente explotando todavía más los ecosistemas sin afectar su sostenibilidad.

Por desarrollo sostenido la comisión entiende aquel "... que satisface las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de que las futuras generaciones puedan satisfacer sus propias necesidades" [3].

Como tal, el desarrollo sostenible así entendido es más una tesis a comprobar en proyectos concretos a niveles local, regional y planetario, que una posibilidad evidente por sí misma. De lo contrario sería solamente una creencia optimista, expresaría nada más la necesidad (aparentemente imperiosa) de creer que hay un futuro de limpieza y seguridad para la humanidad en la Tierra, sin demostrarlo. En ISES [4] se pueden consultar diferentes versiones recientes de sostenibilidad (no necesariamente coherentes) al interior de la comunidad científica internacional que está a favor de la energía solar.

Una condición necesaria (pero no suficiente) para alcanzar la sostenibilidad en el nivel local es mediante el desarrollo de TA, por ejemplo en nuestro caso en el momento iii) antes descrito, es decir, a través de dispositivos y formas de procesamiento de recursos tales que:

1. Son eficientes y ecológicamente adecuados.
2. Son controlados por los usuarios.
3. Están dirigidos enfáticamente hacia los más necesitados.
4. Preservan los aspectos sostenibles de la cultura local.

Como en el caso del concepto de sostenibilidad, la noción de TA es en realidad un instrumento de trabajo: se parte de las cuatro características definitorias anteriores y se las aplica en situaciones concretas; en seguida se evalúa su cumplimiento y se redefine el concepto, en virtud de las discrepancias entre teoría y realidad. (De este modo hasta podría resultar que las tecnologías originalmente propuestas ni fueran apropiadas ni compatibles con un desarrollo sostenible).

En un plano más fundamental hay críticas teóricas (sin base práctica de análisis, aparentemente) a la noción de desarrollo sostenible. Por ejemplo, Iván Illich [5] plantea que en el contexto actual, desarrollo y sostenibilidad son nociones contradictorias, que las actividades humanas para su sostenimiento han rebasado ya la capacidad regenerativa de los ecosistemas, y que, por lo tanto, no se debe crecer más, tal y como lo plantea la comisión Brundtland.

La noción de TA tiene varias acepciones, con características diferentes a las cuatro enumeradas arriba. Se las llega a definir inclusive como las tecnologías de "éxito", es decir, aquellas del tipo que todo el mundo trata de imitar por vaua de las ventajas económicas y políticas que conlleva. Las TA serían las prevalecientes en países como Japón, Estados Unidos o Europa. Para otros, tal clase de tecnologías serían, por lo contrario, las

causantes de los males de nuestro tiempo. (Véase Ref. [6] para una exposición de las distintas concepciones de TA).

No obstante, dos requerimientos son genéricos en cualquier definición moderna de TA: deben estar diseñadas a escala humana y ser compatibles con una relación armónica entre seres humanos y ecosistemas. Aquí, el hecho de que las concepciones de escala humana y armonía a su vez difieren según quien las trate, trasladan la discusión a otro lugar.

Así, en el trabajo pionero de Commoner [7], la noción de armonía se concreta en una tecnología que no rompe con los biociclos naturales. (Commoner mantiene que los problemas de la contaminación no son causados por los niveles de población en aumento, sino por la mala calidad de la tecnología occidental). Los trabajos de Illich [8] y Schumacher [9] abordan el lado humano de la tecnología (Illich con la idea de “herramienta para la convivialidad”). En Reddy [10] se reporta un intento concreto de aplicación de técnicas que no rompen con biociclos naturales ni violentan la convivialidad.

A partir de los setentas se ha dado una explosión de ideas y proyectos concretos para el desarrollo de asentamientos humanos sostenibles, desde pequeños pueblos hasta países enteros. Como ejemplos, si bien tomando en cuenta la sostenibilidad energética como aspecto principal, pueden citarse para Suecia, en Olsson [11] y Gunther [12], el caso de “ecopueblos”; en Holmberg [13], los “ecomunicipios” y en Eriksson [14], el nivel más general de “ecoSuecia”. Un importante planteamiento, de sostenibilidad energética mundial, es el de Goldemberg *et al.* [15]. En México las experiencias al nivel de “ecovivienda” datan de principios de los setentas, “ecoMéxico” se aborda por ejemplo en Martínez [16] (si bien proyectado en la energía) y el de “ecopueblo” en el presente estudio.

Los objetivos, métodos de análisis y aplicaciones concretas de proyectos, como el presente, se pueden ubicar dentro de vertientes nacionales e internacionales de amplio espectro temático. Entre las primeras destacan la construcción de Conjuntos Ecológicos Autosuficientes, en el ejido de Muñoxtla, Tlax. [17], o los análisis energéticos de Evans [18]. Las vertientes internacionales se citan en el párrafo anterior y subsecuentes, a las que se agregarían las reseñas de proyectos citados en publicaciones de las agencias gubernamentales de desarrollo europeas, canadienses y norteamericanas, como el IDRC, SIDA (Swedish International Development Agency), etc. En Howes [19], se hace una revisión crítica mundial de metodologías de análisis energéticos. Los proyectos en la vertiente de la ecología humana aplicada empiezan a ser numerosos; una síntesis de ellos escapa a la extensión del presente artículo, pero pueden consultarse los resúmenes, prontos a aparecer, de un congreso reciente sobre la materia en Gotemburgo, Suecia [20].

Metodológicamente, como apuntábamos, las definiciones de sostenibilidad y apropiatividad de la tecnología son herramientas de trabajo, más que conceptos dados para siempre. Esto implica probar (evaluando sistemáticamente sus repercusiones humano-ecológicas) que las tecnologías y modos de desarrollo propuestos en el práctica cumplen con sus objetivos iniciales. De no ser así se pueden buscar nuevos enfoques. Una forma de evaluación que contemple las variables espacio-temporales analizaría los impactos humano-ecológicos y sus interrelación en las siguientes perspectivas: a) local a corto plazo; b) local a mediano plazo; c) local a largo plazo; d) regional a corto plazo; ... i) global a largo plazo.

Las rigurosidad científica del análisis es más requerida en el estudio detallado de los socio-ecosistemas (en las perspectivas anotadas y sobre todo para diseñar alternativas de desarrollo), que en la caracterización de las repercusiones negativas humano-ecológicas de

tecnologías y modos de acción actuales y propuestos. Así, mientras que casi para cualquier persona son evidentes los deterioros en las condiciones humanas y ambientales de nuestro país (reconocimiento que no precisa de un análisis científico en profundidad, como en la constatación de la destrucción generalizada de los bosques húmedos y templados, o los grados crecientes de pauperización), la definición de modos y tecnologías alternas libres de tales peligros requiere de la práctica científica más avanzada y novedosa (y otras que habrá que crear). Por esto, la investigación y el desarrollo en TA y sostenibilidad bien podrían fincar las bases de una revolución científico-técnica en nuestro país.

3. LA CADENA CIENCIA-TÉCNICA-APLICACIÓN (CTA)

Es impresión generalizada entre los científicos (particularmente los físicos) que en nuestro país no hay una conexión entre la actividad científica, la técnica y las aplicaciones (véase, por ejemplo, la Ref. [2]), aunque existe el deseo reiteradamente expresado de que tal conexión se logre (véase la Ref. [21]). Se aducen varias causas: pequeñez de la comunidad científica, escasez de recursos, falta de un esfuerzo nacional coordinado hacia la integración de la cadena CTA, un modelo económico subordinado a la tecnología "primermundista" (y la falta de interés consecuente de los empresarios nacionales a invertir en investigación y desarrollo científico), formas inadecuadas de evaluación del trabajo científico y técnico, etc.

Este panorama justifica el diseño de proyectos de acercamiento directo de los académicos hacia opciones de aplicación dirigida de su saber. Desde luego, sin descuidar un balance equilibrado con la realización de ciencia "básica", pues de lo contrario habría un estrangulamiento inevitable de la capacidad de innovación científica y técnica a largo plazo. (Más adelante identificamos, a guisa de modesto ejemplo, algunos de los problemas de la comunidad rural de estudio que requieren de una solución científica).

En la constitución de la cadena CTA es básico el concepto de masa crítica. Por éste se entiende el conjunto mínimo de recursos materiales e información (equipos, sustancias, etc.), organizacionales (instituciones, métodos) y humanos (científicos, técnicos, estudiantes, usuarios, etc.) necesarios para garantizar la capacidad de formular problemas científicos y de resolverlos mediante la aplicación de las técnicas generadas.

Ahora bien, como la cadena CTA se da en un contexto político socioeconómico y cultural complejo, la constitución de masas críticas es más bien una condición necesaria, pero no suficiente, para la aplicación social de la ciencia (hablamos de la física). Por ejemplo el empleo de los recursos renovables para la satisfacción de las necesidades energéticas en el campo, y aun en la ciudad, puede requerir la apertura de mercados, oportunidades financieras, demanda y procesos de producción actualmente inexistentes, o de difícil consolidación, ello a pesar de que pudieran existir los grupos de científicos y técnicos dedicados a tal tarea, en capacidad de resolver estrictamente los problemas circunscritos a su campo de actividad. En otras palabras, no basta con formar masas críticas de científicos, técnicos y extensionistas, sino que debe existir el contexto cultural, económico y político adecuado para llegar a las aplicaciones de la ciencia. Pero, desde un punto de vista metodológico, parece corresponder a los científicos la tarea de construir las masas críticas adecuadas que podrán insertarse con las correspondientes a las desa-

rolladas por técnicos y extensionistas, en espera de que las políticas científicas sociales (especialmente las gubernamentales) abran el camino final a la cadena CTA. Este rol del científico se identifica como propuesta en de la Peña [2] y en otros trabajos (véase la Ref. [21] para una reseña en física).

4. ESTUDIO DE CASO: EL PUEBLO DE CHERANÁSTICO

En 1985 un grupo activo de personas (GAP, en adelante) del pueblo de Cheranástico solicitó al GENE la realización de un proyecto de construcción de estufas de leña mejoradas, en vista de que desde 1983 el GENE participaba en el desarrollo de TA en una comunidad rural aislada del estado de Michoacán con aparente éxito [16]. En pláticas con el GAP e incluso con la asamblea del pueblo se discutió la posibilidad de extender el proyecto más allá de la sola implantación de estufas mejoradas para la cocción de alimentos. El estudio se realizaría de acuerdo con las premisas de la TA, es decir: primeramente, se identificarían las necesidades de los pobladores, la naturaleza y cantidad de los recursos naturales procesados para satisfacer tales necesidades, los modos tecnológicos empleados y la accesibilidad tanto a recursos como a técnicas. En segundo lugar, se determinarían los recursos de la comunidad en su región (renovables y no renovables); en tercer lugar, se diseñaría un proceso de ajuste para que con la mejor tecnología, empleando solamente recursos renovables, dar cumplimiento a las necesidades identificadas previamente. Un propósito fundamental del proyecto se dirigía a evaluar si el pueblo sigue una trayectoria tecnológica sostenible o si, por el contrario, avanza en la dirección contraria a fin de proponer un cambio en la primera dirección (la del "ecopueblo").

Cheranástico es un pueblo de 2,400 habitantes y 403 casas; está situado en el estado de Michoacán y pertenece a la cultura purépecha (que en total comprende unos cien pueblos distribuidos en una superficie aproximada de 3,500 Km²). El pueblo está situado a una altitud de 2,300 m sobre el nivel del mar sobre la meseta de una colina arenosa, en el extremo norte del valle de Paracho. Su clima es de los más secos de las zonas subtropicales templadas, con temporada veraniega de lluvias, precipitación anual promedio de 1,100 mm con menos del 5% en el invierno, largos veranos fríos con temperaturas promedio mínima y máxima de 6 y 22°C, respectivamente. La vegetación dominante es de bosques de pino y encino muy perturbados, con zonas en avanzado proceso de erosión.

El pueblo, al igual que otros, se las ha arreglado para preservar aspectos centrales de la cultura purépecha, a pesar de más de cuatrocientos años de perturbaciones culturales ininterrumpidas. Pero la apertura de nuevos medios de comunicación, la consecuente penetración de intereses comerciales y las políticas estatales de desarrollo en la década de los 50's, empezaron a cambiar de manera importante aspectos fundamentales de la vida en Cheranástico, como el económico. La productividad en la agricultura, considerada una actividad central por la gente para la seguridad alimenticia de las familias, se ha deteriorado progresivamente. El cultivo de frijol (fijador de nitrógeno, semilla básica de la dieta campesina) ha sido abandonado, no se han introducido nuevos cultivos y los huertos familiares no se han desarrollado. La producción de maíz, que alguna vez proporcionó un excedente comercializable, apenas alcanza ahora para satisfacer la demanda del mercado interno de la comunidad.

El pueblo no cuenta con actividades productivas suficientes como para ofrecer pleno empleo a los residentes. Por lo tanto, el ingreso salarial de la mayoría depende del exterior, a través de actividades que debilitan a la agricultura y que llevan a una mayor monetarización de la economía local. De hecho, el 64% de las horas-hombre laboradas en total son empleadas afuera del pueblo. En estas circunstancias la comunidad no puede ser humanamente sostenible, y sus pobladores tienen que emigrar en busca de empleo.

Dentro de tal contexto económico y en la ausencia de atención oficial, el pueblo no cuenta con servicios públicos como tratamiento adecuado de aguas residuales, atención médica o agua potable; los servicios principales son la iluminación pública, la escuela primaria y la telesecundaria. El agua de lluvia, recolectada en aljibes comunales, constituye un problema de higiene y la competencia en la demanda entre diferentes usuarios es fuente de conflictos. Recientemente el gobierno perforó un pozo para extraer agua del valle y surtir a varias poblaciones vecinas, con lo que se espera disponer de agua potable en varias tomas públicas de Cheranástico.

Los habitantes del pueblo son parte de los "marginados" del país. Los siguientes datos oficiales del año de 1970 son una muestra de sus condiciones de vida [22].

	Nacional	Zonas marginales
Población total	48,225,238	14,830,400
Población rural ^(a) ,	29,945,654	11,439,394
Población rural, %	41.4	77.1
PEA ^(b) de bajo ingreso, %	63.6	76.7
Desempleo, %	19.0	21.4
Analfabetismo, %	23.7	40.3
Mortalidad, por mil	10.1	11.2
Mortalidad infantil, por mil	10.8	17.5
Personas por doctor	1,307	6,687.4
Casas sin agua entubada, %	38.9	66.3
Casas sin electricidad, %	4.1	72.0
Casas sin drenaje, %	58.5	84.8
Casas sin radio ni T.V., %	22.4	39.4

(a) "Rural" significa comunidades de menos de 2,500 habitantes.

(b) PEA: Población económicamente activa.

En un marco ambiental más amplio el país ha sufrido gran deterioro, en parte debido a que casi la mitad del territorio (100 millones de hectáreas) están dedicadas a la ganadería extensiva, en tanto que solamente 25 MHa son aptas para tal actividad. Aproximadamente 12 MHa de bosques tropicales fueron derribados en la década de los 70's para convertirlas en pastizales.

Los deterioros ambientales y humanos descritos son una consecuencia del modo de desarrollo establecido a partir de los 40's, el cual tenía como meta la industrialización

rápida del país. El fracaso de tal modelo lo reconoce hasta el presente gobierno cuando afirma que:

“...el desarrollo nacional y los modos consumistas que lo caracterizan han seguido un patrón incompatible con el cuidado del ambiente. Así, una parte importante del costo del desarrollo ha sido financiada por la utilización irracional de los recursos naturales y la depredación de los ecosistemas” [23].

Consecuentemente, el pueblo de Cheranástico enfrenta el problema de su sostenibilidad en un contexto nacional (e incluso mundial) que no goza de esta propiedad. No es de sorprender que los residentes (especialmente el GAP) tiendan normalmente a rechazar las influencias culturales externas. Pero al interior de la comunidad se pueden observar también polarizaciones sociales y formas impropias de manejo de los recursos, así como problemas que pertenecen a una economía de subsistencia enmarcada en un contexto de mercado capitalista.

Describiremos en lo que sigue sólo algunos resultados del proyecto, organizados dentro de una perspectiva energética (para una información más detallada puede consultarse el informe del Grupo de Energética al IDRC [24]).

5. EL PATRÓN SOCIAL DE USO ENERGÉTICO

Se examinaron con detalle 21 usos finales de energía (con 12 dispositivos técnicos) en todas las actividades productivas, domésticas y de procesamiento durante un período de 12 meses, de la mitad de 1985 a la mitad de 1986. Pueden establecerse las siguientes conclusiones generales.

Hay un desacoplamiento energético en el pueblo, pues mientras el 58% de las necesidades energéticas son trabajo y calor a menos de 100°C el 98% de las fuentes energéticas provienen de procesos de combustión (de madera y petróleo) a temperaturas medias y altas. Este desacoplamiento en la calidad energética de fuentes y necesidades muestra que hay un gran potencial de mejoramiento en la eficiencia de utilización de recursos, de adaptación de TA en la comunidad y, por tanto, de desarrollo de las investigaciones científicas correspondientes (que serendipia puede ampliar).

Una medida cuantitativa del potencial de mejoramiento viene de que la eficiencia global de dispositivo (o de primera ley de la termodinámica, pensando a la comunidad como una caja negra) fue de 17%, en tanto que la eficiencia global de tarea (o de segunda ley) llegó apenas a un 6%, (Véase la Ref. [25] para las definiciones originales de eficiencias de primera y segunda ley de la termodinámica, o el Apéndice para una presentación resumida de ambas). En este sentido la introducción de la tecnología convencional “moderna” no ofrece grandes perspectivas de mejoramiento, dado que sus valores de eficiencia energética resultan comparables a las eficiencias de las técnicas locales de la comunidad.

En términos de fuentes energéticas la leña es la más importante (85.8% del uso final), gasolina y diesel juntas aportan 7.9%, energía animal y humana 2.1% cada una, electricidad 1.5% y gas LP 0.6%. De la leña, el 77% se usa para cocinar, 13% para cocinar tortillas para la venta, 4% para iluminar y un 6% para bañarse.

Sectorialmente, el sector doméstico carga con un peso principal de 78.3%, luego el productivo con 15.1%, servicios 6.5% y procesamiento 0.1%. Dentro del sector doméstico las tareas de cocinado de alimentos constituyen el mayor uso final, llevándose un 67% del total del pueblo. El cocinado de tortillas es el uso final de energía aislado más importante en la comunidad, con un 42% del total. En promedio el uso per capita de energía es cercano a los 400 W equivalentes, valor semejante al encontrado en otros pueblos rurales.

De generalizarse el método de análisis energético aquí propuesto a otras comunidades rurales situadas en regiones representativas del país, se obtendría una base de datos más realista que la que alimenta actualmente a las estimaciones de la oferta y la demanda de energía rural en los balances nacionales de energía. En estos balances, por ejemplo, no suelen tomarse en cuenta la variación estacional del consumo de leña, ni las entalpías y humedades de las distintas especies arbóreas quemadas. En Cheranástico las diferencias respecto al promedio, por causa de tales factores, puede llegar hasta un 40% o más.

Los valores promedio anteriores (obtenidos de muestras representativas descritas en la Ref. [24] no reflejan las diferencias sociales en accesibilidad a fuentes y dispositivos energéticos. El pueblo exhibe un cierto grado de polarización social, el cual puede ser revelado mirando tras el lente de tres indicadores: producción y autoconsumo de maíz, ingreso familiar y propiedades. Se identificaron en total seis grupos sociales diferentes.

El estudio del maíz mostró globalmente que el pueblo es autosuficiente en este grano básico, pero que el 72.3% de los hogares deficitarios dependen del 7% de hogares que disponen de excedentes.

Se encontraron amplias diferencias en los valores de los tres indicadores entre el primero y el sexto grupo: un factor de más de diez en producción de maíz, de más de seis en ingreso y un gran contraste en propiedades (no posesión de tractores, animales o pequeños comercios en el primer grupo).

Con todo, las diferencias sociales no son tan pronunciadas, pues cerca del 72% de las familias pertenecen al primero y segundo grupos (12.4% y 60.8%, respectivamente), en tanto que solamente el 2.0% al sexto. Es decir, los muy pobres son muy pocos. (Aunque la gran mayoría podría considerarse pobre, de acuerdo con los parámetros nacionales antes descritos).

Concomitantemente, la accesibilidad a los recursos y dispositivos energéticos sigue patrones similares a los descritos para los tres indicadores, con algunas excepciones importantes como la leña (consumida por todos los grupos) y los animales (en posesión casi exclusiva de los miembros del tercer grupo). Sin embargo, las cantidades de recursos usadas per capita varían como antes de un grupo a otro. Así, el consumo de electricidad varía por un factor de más de quince entre el primero y el sexto, mientras que el consumo de leña varía por un factor un poco superior a dos.

Las consideraciones hechas son importantes para cualquier estrategia temporal de difusión de TA. Por ejemplo, a primera vista sería apropiado adaptar medios más eficientes y saludables para cocinar con leña, desplazando para ello a la estufa tradicional de tres piedras a fuego abierto. Todos resultarían beneficiados: el ambiente (se cortarían menos árboles), la gente (menos humo en la cocina y menos gasto de leña y tiempo en el cocinado). Pero lo apropiado de una opción constructiva de biodigestores estaría a discusión, ya que sólo un grupo reducido de familias tiene animales (vacas, sobre todo) y dinero suficientes para su instalación; así que los biodigestores, aunque ecológicamente

adecuados, podrían conducir a la intensificación de la polarización social, que a su vez pondría barreras adicionales a proyectos comunales de reforestación o de integración de las actividades agrícolas. (Hoy en día la agricultura depende excesivamente del exterior en dispositivos mecánicos, combustibles, fertilizantes, pesticidas, etc., lo que ocasiona que solamente la cosecha sea una actividad que se desenvuelve colectivamente).

6. LA LEÑA, LA ESTUFA DE "LORENA" Y EL BOSQUE

La utilización renovable (sostenida) del bosque, es decir, su conservación, requiere de la cuantificación precisa (realizada durante varios años, incluso históricamente) de los factores sociales y ecológicos que afectan la existencia de las distintas especies, así como el Incremento Corriente Anual (ICA, en adelante) de biomasa forestal.

Así, para el uso leñoso del bosque fue necesario determinar la procedencia del consumo, tanto por género, como por parte del árbol. Al efecto se hizo un seguimiento anual del consumo de leña en treinta hogares, dando los siguientes resultados: por género, la leña consumida domésticamente se compone de 48% pino, 37% encino, 6% aile, 3% otros árboles, 5% arbustos y 1% residuos agrícolas. La leña de todos tipos se corta de distintas partes del árbol: 44% del tronco, 47% de las ramas, 8% de brazos de rama y 1% de las raíces. Para la leña del pino la situación es peor, porque un 59% viene del tronco, 37% de las ramas, 3% de los brazos de rama y 1% de sus raíces. Por tanto se tiran árboles para fabricar leña, la que al año equivale a un consumo de 1,630 ton para el conjunto de la comunidad, igual a 678.3 Kg o 1.2 m³ per capita.

En particular, el corte de pino para leña equivale a un promedio de 389 Kg al año por hectárea, correspondiente a 2/3 de un árbol de 50 cm de diámetro a la altura del pecho y de 12 m de alto. Por otro lado, el reporte oficial de existencia de pino (para algún año antes de 1974) consigna 124 individuos por hectárea promedio. Así es que el consumo anual de tronco de pino para leña representa no más del 1% de las existencias. Este valor, aunque pequeño, no es despreciable, pues a la larga implicaría por sí sólo la desaparición del bosque, de no crecer éste.

En general, los datos más recientes [26] indican, por otra parte, que el corte de árboles para leña representa el 69% del total de usos del bosque, valor que es equivalente al 84% del ICA. Ambas cantidades implicarían que los usos totales del bosque superan al ICA en un 22%, manifestando que la comunidad procesa no renovablemente (insosteniblemente) a su bosque. Sin embargo, el juicio no es definitivo porque, por un lado el ICA calculado no toma en cuenta la reforestación natural e inducida (ésta de eficacia dudosa), ni el crecimiento de árboles pequeños; por otra parte, el ICA tampoco considera el desacoplamiento espacio-temporal, por género, entre el crecimiento y las modalidades de corte para cada uso. (Hay partes donde, por ejemplo, los árboles crecen más rápido que en otras, pero la forma de la tala no reconoce las diferencias).

Además, como se decía al principio de este capítulo (y es del conocimiento internacional [27]), no se pueden sacar conclusiones confiables sobre la utilización renovable del bosque, a causa de las indeterminaciones inherentes en la cuantificación de usos y el crecimiento de la biomasa forestal. En especial, poco se sabe de su evolución histórica,

no obstante lo cual, los datos conocidos de Cheranástico muestran que la leña contribuye apreciablemente a la deforestación, y que los incrementos en los otros usos, o la introducción incontrolada del pastoreo (que no es apreciable al momento), podrían ocasionar un deterioro más drástico aún en el balance del bosque, de por sí inestable.

A pesar de la discusión anterior, y de no poderse determinar por consecuencia la influencia en la deforestación de un quemado más eficiente de la leña, el GENE inició, junto con el GAP, la construcción de estufas mejoradas, tanto porque fue la petición inicial de este último grupo como porque las encuestas orales indicaban que la distancia de recolección de leña de encino venía aumentando (situándose ahora a unos 5 Km del pueblo) y la densidad de pino disminuía. Ambos efectos podrían relacionarse con la manera en que el pino y el encino crecen y son cortados para uso combustible: mientras que el encino se corta vivo (seco es muy duro) de agrupamientos sucesivos, a distancias crecientes, el pino se corta vivo o muerto, de preferencia de una especie de círculo de decreciente densidad.

El estudio de Cheranástico muestra que en las 1,185 Ha de bosque de la comunidad (correspondientes al 32% del total de la tierra disponible) el 87% de los árboles son pinos y apenas el 6% son encinos, mientras que (según nuestros datos) sólo hay una diferencia de alrededor del 11% a favor del pino sobre el encino en sus usos combustibles. Esto significa que la tasa relativa de corte anual de encino para leña es un orden de magnitud superior a la de pino; de aquí que la deforestación de una especie sea más aparente que la otra.

Una posible explicación del corte más rápido del encino puede provenir de que su madera se quema más lentamente que la del pino, prefiriéndosela en la preparación lenta de alimentos básicos como el frijol y otros platillos. Además, la tortilla, que requiere la alta potencia de combustión del pino, tiende a ser fabricada más en los pueblos pequeños cercanos al bosque (como Cheranástico), que en los pueblos grandes (como Paracho) por diferenciales económicos de las distintas actividades (son las mujeres de Cheranástico las que venden tortillas en Paracho y no al revés). La composición de estos aspectos propicia una demanda económica adicional de corte de encino para exportación. De cualquier manera se requiere de una investigación más extensa sobre este tema, pues la cuantificación exacta de cada factor se desconoce todavía.

En el primer año del proyecto se construyeron por el GENE y el GAP alrededor de 56 estufas del tipo "lorena" (hechas de "lo"do y a"rena"). El dispositivo se construye de modo que la cámara de combustión, sobre la cual se sitúa el comal para cocer tortillas, se comunique mediante túneles con hornillas (que suelen ser dos, en serie o en paralelo) y al final con la chimenea por donde escapa el humo al exterior. La apertura horizontal de las hornillas se adapta a los utensilios en forma que no queden huecos por donde escapen calor y humos. La combustión se regula introduciendo láminas en ranuras transversales, y a través de una sencilla válvula en el cuerpo de la chimenea. (Allá por 1984 el curso de Física Teórica II (Termodinámica), impartido por el autor, construyó un prototipo de estufa de lorena para hacer pruebas experimentales. El dispositivo se puede ver todavía en el Laboratorio de Calor, Ondas y Fluidos de la Facultad de Ciencias-UNAM. Véase la Figura 1.)

Posteriormente, varias personas de la comunidad emprendieron por sí mismas la construcción de lorenas, haciendo adaptaciones originales en algunas componentes. Parte de los usuarios de las primeras lorenas construidas en 1985-1986 continuaron dando mantenimiento a sus dispositivos. Esto significa que la lorena fue hasta cierto punto apropiada.

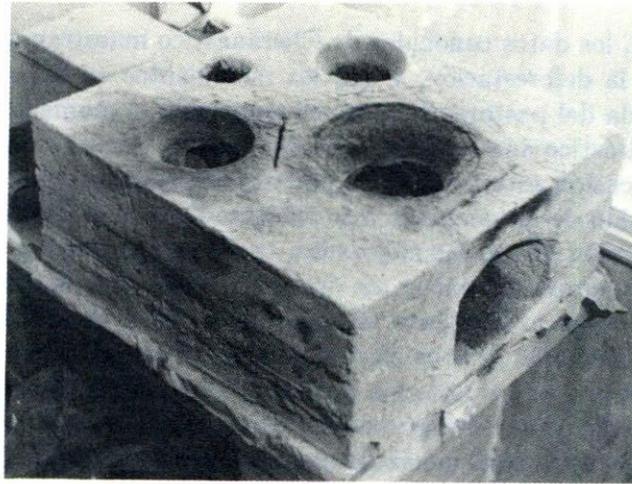


FIGURA 1. Estufa de lorena en el Laboratorio de Calor, Ondas y Fluidos, Facultad de Ciencias, UNAM.

Para evaluar el potencial de ahorro de la lorena se siguió el consumo de leña en los hogares donde se construyeron, dando un promedio anual del 38% con respecto al comportamiento de la estufa tradicional de tres piedras. Ventajas adicionales provienen de que el humo se manda fuera de la cocina, se dedica menos tiempo al cocinado y recolección de leña y se evitan las quemaduras en el costado de las usuarias (principalmente en las fabricantes de tortillas para la venta). Hay evidencias de que el humo de la leña causa enfermedades graves en las vías respiratorias [28]. Las desventajas de la lorena son debidas al incremento en la complejidad de su construcción (frente a la simplicidad de selección de tres piedras), al gasto de tiempo en la recolección de los materiales de fabricación (barro, arena y agua) y a que se pierde el humo que antes se empleaba para ahumar carne y preservar los techos de madera de las cocinas.

Las tortilleras se mostraron agradecidas con el nuevo diseño, debido a que su tarea se simplificó un tanto. Fabricar tortillas para la venta es una tarea difícil, por cuanto toma unas cinco horas, en un horario inconveniente de las 01 a las 06 de la mañana; después tienen que caminar más de 5 Km cargando unos 18 Kg de producto para llevarlo a los pueblos de Aranza y Paracho. Ahí se pasan toda la mañana en la venta, operación que repiten tres veces a la semana, durante todo el año.

Se ha manifestado demanda de lorenas en los pueblos vecinos de Aranza, Cherán, Tacuro y Pomacuarán, en donde la leña es un recurso crecientemente escaso. Se construyeron prototipos en esas cuatro comunidades, aunque no se ha hecho un seguimiento detallado de la difusión.

7. EL CENTRO REGIONAL DE TECNOLOGÍA APROPIADA

El CRETA se empezó a construir en un terreno prestado por uno de los residentes del poblado, con mano de obra local y con dinero del IDRC. Hay proyectos en desarrollo sobre: agricultura conservacionista (con algo de ayuda del gobierno), evaluación fores-

tal, dispositivos para almacenamiento doméstico de agua, filtros de agua, construcción y mantenimiento de lorenas. Las mujeres conducen proyectos con ayuda de Organizaciones no Gubernamentales (ONG's) europeas, como: huertos familiares, panadería, artesanías (apoyado también por el Instituto Nacional Indigenista); dos proyectos más se planean: plantación de frutales y una granja avícola.

8. PERSPECTIVAS

Hasta ahora se observa que el proceso de difusión de TA depende críticamente de la existencia de GAP's dentro de las comunidades. Los miembros de los GAP deben derivar su subsistencia de la difusión de las TA, de lo contrario el proceso puede detenerse. De hecho, la terminación del financiamiento al CRETA (a principios de 1991) por parte del IDRC plantea el problema del acabado de las instalaciones, así como la continuidad de acción, a menos que se descubran formas de autosostenimiento. De encontrarse éstas, se podría formular un proceso de difusión hacia toda la región purépecha. Problemas semejantes de continuidad existen en la institución universitaria, en donde las solicitudes de plazas, laboratorio y equipamiento (a fin de consolidar una masa crítica) no se han resuelto positivamente hasta la fecha.

Una idea central del CRETA es que los problemas que requieran de un tratamiento científico y técnico para su solución se planteen en un doble accionar con los laboratorios científicos de las universidades e institutos tecnológicos del país (que deben ser más de un centenar). De tal manera podrían construirse masas críticas ampliadas para realimentar a los eslabones de la cadena CTA.

Así, en Cheranástico hemos identificado algunas necesidades de investigación científica-académica, alrededor de los temas siguientes: dinámica de fluidos, fisicoquímica de la combustión y transporte de calor (para lorenas y calentadores solares); superficies selectivas, películas delgadas, física de superficies, óptica y física del estado sólido (para calentadores y cocinas solares); teoría física de los recursos (para sostenibilidad y eficiencia de la comunidad como un todo); edafología, silvicultura, ecología, estadística, agrobiología, control biológico de plagas (para bosque y cultivos orgánicos); economía, sociología, antropología, etc. (para la comunidad integral). Como se ve, la ciencia que se requiere es transdisciplinaria; de hecho, se necesita la integración de las disciplinas existentes y hasta se prevé la creación de nuevas temáticas y métodos. Por lo pronto, la participación de los habitantes en el proyecto garantiza la visión holística de problemas y soluciones en la comunidad.

En el avance del proyecto hasta el reporte escrito en GENE [24], se tuvieron que resolver en el laboratorio e *in situ* varios problemas científicos y técnicos relacionados con los temas del párrafo anterior. Inclusive varias tesis de licenciatura y otros estudios publicados en forma de libro debieron elaborarse (véase las Refs. [29], [30], [31], [32]).

Con los recursos actuales aplicados en Cheranástico y en la Facultad de Ciencias de la UNAM (a través del GENE), se está lejos de acceder a propuestas de solución a los problemas del pueblo; faltan muchos elementos para constituir las masas críticas de la cadena CTA. Incluso se requiere una labor de investigación metódica para identificar los elementos constitutivos de tales masas críticas. Por esta razón no se pueden plantear por

ahora conclusiones definitivas, excepto la de que se trata de un problema abierto, que requiere de mucho más esfuerzo y aporte crítico de la comunidad de los físicos mexicanos.

APÉNDICE

La eficiencia de primera ley, η , valora la cantidad de energía de salida, E_s que es convertida en cierta forma (p. ej., trabajo o calor), por un dispositivo técnico (p. ej., un motor o una estufa) que procesa una cantidad de energía E_e a la entrada (p. ej., energía química fósil, trabajo, calor, etc.). Entonces

$$\eta = \frac{E_s}{E_e}.$$

La relación entre E_e y E_s se calcula recurriendo solamente a la primera ley de la termodinámica [33].

E_e y E_s suelen ser las denominadas “energía primaria” y “energía final”, respectivamente, en los balances nacionales de energía.

La eficiencia de segunda ley, ε , relaciona la exergía mínima necesaria, Ex_m , para efectuar una tarea o acción (p. ej., levantamiento de un peso, cocimiento de tortillas, etc.), con la exergía consumida en realidad, Ex_c . Así,

$$\varepsilon = \frac{Ex_m}{Ex_c}.$$

Tanto Ex_m como Ex_c requieren, por definición, del conocimiento de la máxima cantidad de trabajo mecánico que puede obtenerse de un sistema fuera del equilibrio termodinámico (o contrastado en p , T y μ) con su entorno y, por tanto, precisan de la segunda ley de la termodinámica.

Ex_m y Ex_c no aparecen todavía en los balances nacionales de energía, a pesar de su importancia en la determinación del uso eficiente y potencial de ahorro energético del país.

En Wall [34] puede consultarse una versión didáctica del concepto de exergía, así como su aplicación a algunos procesos industriales y a un país entero: Suecia.

AGRADECIMIENTOS

Se agradecen las ayudas económicas directas de la Rectoría de la UNAM del doctor Jorge Carpizo (a través del doctor Flavio Cocho Gil, coordinador del programa Grupos Universitarios Interdisciplinarios) y del gobierno del Canadá (a través del IDRC), pues sin ambos el proyecto no hubiera sido posible de realizar. La entusiasta colaboración y hospitalidad del GAP, especialmente de Roselio Joaquín y Pedro Márquez; el apoyo en cómputo de César Zepeda; la foto de Lorena tomada por Jesús Fajardo, del Centro de Enseñanza de la Física, Facultad de Ciencias, UNAM, y los comentarios y sugerencias del árbitro de la *Revista Mexicana de Física*.

REFERENCIAS

1. J.E. Lovelock, *GAIA, A new look at life on Earth*, Oxford Univ. Press, UK (1979).
2. L. de la Peña, "Conocimiento científico y modernización del país: Un punto de vista desde la investigación científica", en *Universidad Nacional y Cultura*, A. Azuela (coordinador), CIIH-UNAM y Porrúa Editores, México (1990).
3. Bruntland, *Nuestro futuro común: un resumen*, Fundación Friedrich Ebert, México (1990).
4. ISES, *Proceedings of the Biennial Congress of the International Solar Energy Society*, Denver, Colorado, USA, 19-23 August 1991, Solar World Congress, Pergamon Press (1991).
5. I. Illich, "The shadow our future throws", *New Perspectives Quarterly* 6, No. 1 (1989).
6. J. Robinson, *Appropriate Technologies for Third World Development*, London (1979). (Publicado en español por el FCE como *Tecnologías Apropiadas para el Desarrollo del Tercer Mundo*, México (1980).
7. B. Commoner, *The Closing Circle*, New York (1971).
8. I. Illich, *Tools for Conviviality*, Calder and Boyans Ltd., London (1973).
9. E.F. Schumacher, *Small is beautiful*, London (1974).
10. A.K.N. Reddy and D.K. Subramanian, "The design of rural energy centres", en *Rural Technology*, Indian Academy of Sciences, New Delhi (1980).
11. K. Olsson, *Valsviken*, Centrum for Tvarvetenskap (Centro interdisciplinario, en español), Goteborg, Suecia (1976).
12. F. Gunther, *Ekobyar (Ecopueblos, en español)*, Institutionen for Miljo och Energisystem (Institución para el ambiente y sistemas de energía, en español), Lund, Suecia (1989).
13. J. Holmberg, *Resursbalans och miljopaverkan i Overtorneo och Lulea (Balance de recursos e impacto ambiental en los municipios de Overtorneo y Lulea, en español)*, Universidad Técnica de Lulea, Lulea, Suecia (1989).
14. B. Eriksson, K.E. Eriksson, K. Olsson, G. Wall, *Towards an integrated accounting of energy and other natural resources*, Rapport 75-33, Institutionen for teoretisk fysik, Goteborg, Suecia (1975).
15. J. Goldemberg, T.B. Johansson, A.K.N. Reddy, R.H. Williams, *Energy for a Sustainable World*, World Resources Institute, USA (1987).
16. M. Martínez, J. Cervantes, O. Maserá and F. Shutz, "End-use oriented strategies for Mexico". (Trabajo de 206 páginas presentado en el Global Workshop on End-use Oriented Energy Strategies, June 4-15, 1984, Sao Paulo, Brasil) (no publicado).
17. M. Martínez, "Funcionan en Tlaxcala una docena de Conjuntos Ecológicos Autosuficientes", diario *El Día*, México (8 de diciembre, 1983).
18. M. Evans, *The use of firewood as domestic fuel in Mexico and the patterns of chance to alternatives*, Institute of Agricultural Economics, University of Oxford, UK (1983).
19. M. Howes, *Rural Energy Surveys in the Third World: A Critical Review of Issues and Methods*, Institute of Development Studies, University of Sussex, UK (1985).
20. Gotemburgo, International Conference on Human Ecology, 9-14 June, 1991, Goteborg, Suecia.
21. M. Martínez, "Los físicos y la aplicación social de la ciencia" (1992) (en preparación).
22. Coplamar, *Necesidades esenciales de México. Geografía de la Marginación*, Vol. 5, Coordinación General del Plan Nacional de Regiones Deprimidas y Grupos Marginales, Siglo XXI Editores, México (1982).
23. "Programa Nacional para la protección del Medio Ambiente 1990-1994", *Gaceta Ecológica*, Vol. II, No. 9, julio de 1990, SEDUE, México.
24. GENE, "Energy Use Patterns and Social Differences: A Mexican Village Case Study", Manuscript Report 215e, International Development Research Centre, Canada (1989). (Publicado en español como "El patrón de consumo energético y su diferenciación social: Estudio de un caso en una comunidad rural de México", El Colegio de México, Programa de Energéticos, México, 1987).
25. *Efficient use of energy: a physics perspective*, American Physical Society, New York (1975).

26. F. García (integrante de CRETA) (1991). Comunicación personal.
27. G. Leach and R. Mearns, *Beyond the Woodfuel Crisis*, Earthscan Publications Ltd., London (1988).
28. A. Onofre y J.R. Pérez, "Enfermedades respiratorias causadas por la inhalación doméstica del humo de leña y de otros materiales biológicos", ponencia presentada en la Primera Reunión Internacional sobre Energía y Medio Ambiente en el Sector Residencial Mexicano, 2 y 3 de diciembre de 1991, PUE-UNAM, Universidad de California, EUA e Instituto de Física-UNAM, México.
29. O. Maserá, *Estudio de las necesidades energéticas en comunidades rurales: el método exergético*, tesis de licenciatura en Física, Facultad de Ciencias, UNAM, México (1986).
30. C. Sheinbaum, *Estudio termodinámico de una estufa doméstica de leña para uso rural*, tesis de licenciatura en Física, Facultad de Ciencias, UNAM, México (1988).
31. R. Almeida, *Análisis calorimétrico de cinco especies vegetales que se utilizan como leña*, tesis de licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM, México (1990).
32. O. Maserá, *Crisis y mecanización de la agricultura campesina*, El Colegio de México, México (1990).
33. L. García-Colín, *Introducción a la termodinámica clásica*, 3a. ed., Edit. Trillas, México (1986).
34. G. Walls, *Exergy — a Useful Concept*, doctoral thesis, Chalmers University of Technology, Goteborg, Suecia (1986).