
Eladio Aranda Heredia

*Perspectivas energéticas
de la Agricultura moderna*

DEL AYER LEJANO AL MAÑANA PROXIMO

La historia natural del hombre, la Antropología, nos muestra el «homínido» armado de un pesado garrote como único atributo para imponer su superioridad de *homo habilis* en el momento de aclararse el bosque lujuriente del terciario para dar paso a la dilatada sabana del paleolítico. Su inteligencia, en continuo desarrollo, le permite afrontar las glaciaciones que se suceden y sobrevivir con sólo el imprescindible esfuerzo de apropiarse los recursos que le rodean. Valido de útiles rudimentarios de piedra tallada y diestro para aprovechar el fuego, acondiciona la disimulada cueva que le sirve de hogar y se convierte en un depredador carnívoro más, que practica la caza y la pesca (1).

El instinto asociativo y dominante característico del *homo sapiens* le hace contraer finalmente la responsabilidad de capitanear a sus semejantes para compartir con ellos vicisitudes y bienestar, hasta que, hace diez mil años,

(1) Audrey, R.: *La evolución del hombre: la hipótesis del cazador*. Alianza Editorial, Madrid, 1976.

apunta la civilización cuando grupos étnicos de incierta ascendencia aprovechan un cambio climático favorable, después de la cuarta glaciación del paleolítico, y se instalan entre el Tigris y el Eúfrates, en Mesopotamia, sobre tierras de fecundidad incalculable. Sus frutos bastan para satisfacer las necesidades de una población prolífica, pero sólo hasta cierto día, aquél en que resultan insuficientes las cosechas espontáneas y tiene que aguzar la inteligencia para no pasar hambre: es el amanecer de la agricultura (2).

Aquella agricultura rudimentaria abre la «revolución agrícola», y es la primera empresa de la historia de la humanidad digna del *homo economicus*, esa que nos asegura regularmente los productos vegetales y animales indispensables para subsistir y convierte al agricultor en el gestor de los procesos fascinantes de la reproducción de las especies como consecuencia de la formación de la materia vegetal por la energía solar desencadenante de la fotosíntesis. Ninguna otra iniciativa encierra más riesgo y esperanza que la de enterrar una semilla, donde se esconde el germen de la vida, para que fructifique y devuelva el ciento por uno, es decir, las cosechas cada vez mayores que se acompañan con el crecimiento demográfico de la Humanidad, poniendo a prueba la ciencia y la técnica, pues bien sabe el hombre que en el reparto de la superficie terrestre (51.10^9 ha) poca es la tierra que emerge de las aguas ($13,4.10^9$ ha) y poquísimas las tierras cultivables ($1,5.10^9$ ha), tan sólo la tercera parte del suelo que muestra alguna vegetación espontánea.

Cualquiera es capaz de comprender que si el cazador primitivo necesitaba dominar un territorio de mil hectáreas para vivir de sus capturas, la población del mundo hubiera debido detenerse en $1,5.10^6$ habitantes, en vez de seguir creciendo hasta hacerse hoy casi tres mil veces mayor y continuar en aumento aceleradamente. Así hubiera ocurrido de no producirse el correlativo progreso de las ciencias agrícolas, el que ha consagrado a la agricultura como la empresa primaria que proporciona al hombre, con los vegetales y la ganadería, fuertemente asistidos técnicamente, los

(2) Carillon, R.: *De l'ominidé a ce qui suivra l'agriculture moderne*. Etudes du CNEEMA núm. 446, Antony, 1978.

alimentos y materiales de origen orgánico que le brinda el sol como manantial inagotable de energía.

Muy significativa, también, para el desarrollo de nuestra civilización, es la riqueza que se encierra en la dilatada superficie de mares, lagos y ríos, donde inciden las dos terceras partes de la radiación solar y cuyos fondos y riberas se hacen cada día más accesibles a una explotación integral. Conocida como lo es ya la evolución de los microorganismos del plancton y el desarrollo de algas y bacterias, será posible no sólo aprovechar flora y fauna racionalmente, sino producir hidrógeno por vía biológica y fotoquímica, utilizando el agua, salada o dulce, como material de partida y la energía solar a su encuentro para liberarle: su excepcional valor químico y energético, bien puede hacerle digno sucesor del petróleo, en un mañana más o menos próximo (3).

Ingenio y energía solar

El tradicional destino de la producción agrícola para subvenir a la demanda de alimentos y fibras, exigió desde el primer momento una aportación generosa en forma de trabajo corporal por parte del hombre, después que bajo el anatema bíblico «con el sudor de tu rostro comerás el pan...» hubiera de salir del Paraíso donde le sitúa el Génesis. Aceptada la necesidad de trabajar para vivir, consiguió poco a poco que el trabajo se convirtiera en atributo relevante de la dignidad humana, a costa, sin duda, de innumerables vicisitudes y sacrificios. Las herramientas de piedra de la agricultura primitiva, las de madera después y las de hierro por último; la palanca, la rueda o el malacate, que transformaban en trabajo la energía encerrada en los alimentos, dan cumplido testimonio de ello. El trabajo, en efecto, al principiar la era cristiana, simbolizaba infortunio y la esclavitud lo acredita. Mas la inteligencia encontró recursos para aliviarle, primero, valiéndose de los animales domados, bóvidos y équidos, principalmente, y luego con las más ingeniosas máquinas inspiradas en la perseverante observación de los fenómenos físicos.

(3) Bery, A.: *Los próximos diez mil años*, Alianza Editorial, Madrid, 1974.

Grecia y Roma rivalizan en la inventiva. Herón de Alejandría, en el siglo I, calentando agua en una esfera provista de boquillas, casi tangentes al ecuador y giratoria alrededor del eje polar, libera el vapor desprendido y da la primera idea de una turbina pura de reacción. Vitruvio, también por aquel entonces, con una rueda de paletas radiales que gira impulsada por el agua de un cauce, es el precursor de lo que hoy conocemos como rueda Pelton. Las velas de un junco chino, las del molino de viento que, hace mil años, sacaba el agua para riego en Afganistán o las que en el Siglo de Oro desencadenaban la furia de un caballero andante, en La Mancha, cuando amarradas a las aspas molían la cosecha en el empiedro, no son sino álabes que recogen la energía del viento para producir trabajo mecánico, venciendo la resistencia que se les opone (4). Todo ello gracias al Sol que con los cambios térmicos pone el aire en movimiento, y hace moverse cuanto encuentra en su camino, o evapora el agua, la hace volar en las nubes y con ella alimenta lagos y embalses, desde donde puede liberar su energía potencial descolgándose hacia el mar, al mismo tiempo que empapa la tierra y da vida a plantas y animales de todas las especies.

El fuego, por su parte, se hace inseparable del hombre a partir del día sin fecha en que un rayo prende la selva y le ayuda a penetrar en ella. Luego ha de servirle como manantial de calor y luz a remedo del Sol que quedó prendido en la madera de las antorchas.

Todo, materia, energía y vida, está vinculado al Sol, con sobrada razón adorado por las civilizaciones orientales y precolombinas. Protagonista sin igual de cuanto acontece en la Tierra, rige el destino de este minúsculo planeta a la enorme distancia de 150.10^6 kilómetros y le hace beneficiarse de la fusión nuclear localizada en su interior.

La alternancia de los días y las noches, el ritmo de las estaciones y los fenómenos meteorológicos y gravitacionales conjuntan las fuerzas del ecosistema regido por el Sol, donde también juega accidentalmente la carga ígnea que

(4) Varios autores: *Energie vom Wind*. DGS Tagungsbericht. Bremen, 1977.

quedó encerrada bajo nuestros pies, en la pirofera, y es aprovechable energéticamente, cuando está poco profunda.

La agricultura, como consecuencia de la diversidad de climas y suelos que ofrece la Tierra, resulta varia y contingente en demasía, lo mismo que todas las manifestaciones de la vida, sea en tierra firme o bajo el agua. Lo único cierto es que la energía solar hace posible el desarrollo de plantas y animales para provecho de la Humanidad y que el agricultor se sintió siempre depositario de esa riqueza natural, consciente de las responsabilidades de apropiársela y explotarla con las alternativas que en cada momento le ofrecía el saber de la época.

Muchos siglos han transcurrido, efectivamente, viendo al agricultor sujeto a las limitaciones derivadas de contar sólo con sus fuerzas y las del ganado para cultivar sus tierras en un régimen de empresa autárquica, donde todo, excepto ciertos aperos de artesanía, era fruto de la propia finca. Siguiendo la vía natural de la descendencia, semillas y ganado constituían eslabones de la cadena que se cerraba en el granero y la cabaña propia, capaz, por su parte, de proporcionarle alimentos protéicos, grasas y materiales varios, amén de los fertilizantes que le bastaban para practicar una agricultura íntegramente biológica, donde, por añadidura, los combustibles para alumbrado y calefacción eran de origen vegetal y animal, fáciles de conseguir y teóricamente inagotables, gracias al poder del Sol. Así fue y todavía sigue siendo, en algunos lugares poco desarrollados, la agricultura que despertó hace diez milenios y vegetó a la espera del irrefrenable impulso que había de darle el propio Sol, en forma de petróleo cuando alumbrara, hace poco más de un siglo, en los yacimientos donde quedó aprisionado con los fósiles que le sirvieron de cuna e ilustran por sí mismos el calendario geológico de la mineralización de la materia orgánica.

Nace el Caballo de Vapor

Efectivamente, los yacimientos fósiles, primero los de carbón y luego los de petróleo, dejaron al descubierto, un día, toda su riqueza química como generadores de calor y

servieron de base a la que hoy llamamos revolución industrial, a pesar de ser también biológica en buena parte y remontarse al momento en que el hombre emprendió el aprovechamiento y destrucción de las riquezas no renovables para desembocar en la sociedad actual, caracterizada por la velocidad y el desperdicio.

Nacida, pues, en una mina, la revolución industrial tomó por símbolo el «caballo de vapor». Bien lo justificaba la circunstancia de que la máquina de vapor, allá por los últimos años del siglo XVII, hizo acto de presencia en un pozo de carbón inglés para reemplazar a los caballos que movían el equipo mecánico con el que se achicaba el agua de las galerías. Ensayando modelos cada vez más potentes se vieron relevados primero cinco, luego diez y sucesivamente más y más caballos de los que componían la cuadra, los mismos que se atribuyeron a la máquina de vapor capaz de eliminarlos. Así nació a su vez como unidad el *horse power*, popularizado en la sigla HP, que había de apoderarse, sin perder tiempo, de las más diversas instalaciones industriales y agrícolas. Entre estas últimas hay que anotar los molinos harineros, almazaras y bodegas y también las rústicas norias donde las bestias agotaban sus últimos alientos. La madera o el carbón, hijos ambos del Sol, habían puesto el primer hito de un largo camino donde el agricultor iría perdiendo su milenaria independencia (5).

Las máquinas fijas y las locomóviles conquistaron sin tardar todos los trabajos donde la manivela y el malacate podían ser sustituidos por dos poleas y una correa de transmisión. Cuando declinaba el siglo XIX irrumpen en escena las locomóviles, convertidas en tractores para la labranza, con poco éxito ciertamente, por su gran peso, aunque intentáran disimularle con la tracción funicular. En cualquier caso, el cortejo de las asistencias que eran indispensables para mantener abastecidos de combustible y agua los generadores, contuvo el entusiasmo que, entre los agricultores progresivos, habían despertado los motores inanimados.

(5) Varios autores: *Energy for survival*. Ed. H. Messel. Pergamon Press (Australia), 1979.

Mientras tanto, la electricidad apareció en el escenario industrial con centrales hidráulicas y térmicas, unas y otras tributarias también de la energía solar almacenada en los embalses y los combustibles fósiles. Desde ellas se distribuye la energía por doquier, en su forma más versátil y limpia, con la sola limitación —que no es pequeña— del enlace permanente entre la central generadora y las instalaciones receptoras a costa de pérdidas considerables en el transporte y de inversiones crecidísimas.

También, la energía que irradia del inextinguible reactor solar, azota en la Tierra, a los ocho minutos de quedar liberada, y se suma al caudal de los recursos disponibles. Los colectores solares, planos y focales, sirven para la calefacción y proporcionan vapor para alimentar las máquinas térmicas. Las células fotovoltaicas, por su parte, aplican la aptitud de los semiconductores para convertir el impacto de los fotones en una diferencia de potencial eléctrico aprovechable in situ o alimentar la red de distribución comercial (6) (7).

Mientras nos deslumbra y vivifica el reactor de fusión que es el Sol, otros reactores nucleares, los de fisión, fruto de la investigación y de la inventiva, tratan de paliar la presente crisis energética y nos ponen a merced de los materiales radiactivos, poco abundantes por desgracia.

Un paso atrás que nos vuelva a los tiempos de apogeo de la máquina de vapor es indispensable en esta reseña de las versiones energéticas para situarnos en el descubrimiento del motor de combustión interna. Alimentado éste en sus orígenes, con gas de ciudad, cuando era estacionario, adopta pronto el petróleo como combustible y entra en competencia con la máquina de vapor, vencéndola rotundamente para los transportes y la tracción en general. Quien lo diría mientras el petróleo deletéreo y sucio, con el apellido de «lampante», sólo servía para los faroles y las lámparas y para contaminar las aguas con el vertido de las fracciones más pesadas. Su supremacía se la debió desde el primer momento a ser el líquido de mayor poder calorífico a

(6) Varios autores: *Internationales Sonnenforum*. Comptes/DGS. Hamburg. 1978.

(7) G.-Badell, J. J.: *La energía solar*. INIA. Ministerio de Agricultura. Madrid. 1979.

la temperatura ambiente, no corrosivo, fácil de envasar y transportar, doblar con creces el poder calorífico del carbón ordinario, con menos de la mitad de volumen específico y sobre todo ser barato en origen.

La petroquímica, pronto, se encargaría de desdoblar los crudos de petróleo en muchas fracciones que sirven de materias primas para innumerables procesos industriales y convertirla en «oro negro». Su auge es correlativo con la decadencia del carbón; aquél y ésta acompañan al espectro de las dos guerras que devastaron Europa en la primera mitad del siglo actual, pues ambas se desencadenaron por la hegemonía energética a escala mundial.

Es de sobra conocido, en efecto, que hoy, por tierra, mar y aire, se quema el petróleo para el transporte y que la manipulación de su compleja molécula permite sustituir infinidad de productos, que antes tenían su origen en la agricultura, por otros equivalentes, entre ellos los fertilizantes orgánicos y las fibras textiles. El esplendor del desarrollo industrial basado en la petroquímica culmina en la década de los sesenta y entra en crisis cuando un día de 1973 los países productores de petróleo se sienten preocupados por el inevitable agotamiento de los pozos, al mismo tiempo que por la continua devaluación del dólar americano con que pagan los compradores, atacado, como muchas otras monedas, de una inflación galopante. La carrera de precios, que empezó entonces, ha decuplicado ya largamente las cotizaciones de partida y hace crujir la economía de todos los países que montaron su desarrollo pensando en la abundancia y baratura permanente del petróleo ajeno.

Agricultura Mecanizada

La agricultura española, como todas las demás de la Europa occidental, sigue el modelo norteamericano y abandona su ancestral autarquía para someterse a la dependencia de las industrias que la abastecen; el ganado de labor deja su puesto a los tractores y cosechadoras, el de renta se concentra en empresas ganaderas que tienen su base en los

piensos compuestos cuyas materias primas vegetales se importan por ser, en su mayoría, más baratas que las propias (soja, maíz) y la fertilización va más allá de lo necesario con el aliciente de redoblar la producción apoyándola en los compuestos orgánicos de síntesis que ofrece relativamente baratos la industria petroquímica, también monopolizadora de los plaguicidas.

En este escenario energético, tres generaciones de agricultores, desde la primera guerra mundial, han cambiado su técnica y el sistema de gestión de las empresas. Hoy, para decirlo brevemente, además de haber acrecentado su experiencia agronómica, son mecánicos por necesidad y convicción, pues a ello les obliga el fuerte inventario de maquinaria con que hubieron de afrontar el éxodo rural y asegurarse la ejecución oportuna de los trabajos en el corto tiempo que presagia la respuesta óptima de los cultivos. Y, además, necesitan desenvolverse rentable y financieramente para adquirir al contado combustibles, fertilizantes y piensos y pagar reparaciones, servicios de asesoría y tributos, aparte la mano de obra especializada y cara de la plantilla, todo ello bajo la invariable incertidumbre de la colocación de las cosechas a un precio remunerador.

No falta, sin embargo, quien se pregunta, ante la alarma que nos ha traído el encarecimiento del petróleo y los augurios, más o menos verosímiles, sobre su cercano agotamiento, si la agricultura, las industrias que la abastecen y las que forman parte de la cadena agroalimentaria, deben desandar el camino y hacer que resuciten el azadón y la yunta como símbolos de los países menos favorecidos aquel día en que la historia trazó sus fronteras y quedaron lejos de las cuencas sedimentarias donde yace el petróleo.

Sin duda, no han meditado, los que así piensan, en el prioritario papel de la agricultura como abastecedora de alimentos y fibras para una población que será doble de la actual dentro de cincuenta años si se sostiene su ritmo de crecimiento. Para ellos, la respuesta no puede ser otra que la contenida en una sola norma: *intensificación contra regresión*, pues bueno fuera que renunciásemos caprichosamente a las conquistas conseguidas por las ciencias, ayer,

hoy y mañana, para afrontar todas las situaciones que nos depare el porvenir cuando está en juego nuestra propia existencia (8).

Mas esta respuesta categórica ha de llevar en sí una profunda reflexión sobre las soluciones viables. Ante todo, considerar que el encarecimiento de cualquier mercancía importada, tiene que ir acompañado, para no desnivelar la balanza de pagos, de las correlativas exportaciones suplementarias que produzcan las mismas divisas o bien suplirlas con economías que compensen el encarecimiento en cuestión o ambas soluciones combinadas. La primera implica más trabajo para producir los excedentes exportables a precios competitivos internacionalmente, y la segunda, administrar mejor los recursos disponibles para que no decaiga la producción; unidas con habilidad pueden dar los resultados que se pretenden, siempre que se cumpla, en nuestro caso del petróleo, una sola condición, cual es la estabilidad de la moneda empleada para el pago en la operación comercial, visto que ya con el papel moneda, «no es oro todo lo que reluce». Las unidades de energía que, sin cotizarse como el oro, hacen más diáfanas las operaciones comerciales en materia de combustibles, adquieren entonces especial significación, una vez conocida la incidencia de la energía en el producto de que se trate, sea agrícola o industrial.

Como las aludidas exportaciones suplementarias pueden proceder, aunque sólo sea en parte, de excedentes conseguidos con una mejor administración de la energía, el dilema anterior descubre sin más explicaciones la urgencia de afrontar el mejor empleo de la energía fósil destinada a la agricultura, respetando siempre, claro está, la prioridad absoluta que, mientras aquellas economías no sean tangibles, el campo necesita para satisfacer la demanda de productos agrícolas frescos y preparados.

Dicho se está, que proponer economías implica luchar en dos frentes al mismo tiempo, el puramente técnico de la mejora global del sistema de producción y el psicológico,

(8) Carillon, R.: *L'Agriculture avant toute autre chose!*, Etudes du CNEEMA, núm. 448, 1979.

donde se encuentran usuarios y consumidores, todos reacios a cualquier privación que implique perder comodidades sin reparar en lo que cuestan, individual y socialmente. Reconozcamos, a pesar de ello, que siempre y más aún en las presentes circunstancias, la austeridad no tiene precio.

Biomasa y Agroenergética

Tras esta sintética reseña del desarrollo de la agricultura, se confirma el papel preponderante que el Sol está llamado a desempeñar en la actual crisis energética por su capacidad de regenerar continuamente la vegetación y la fauna de la Tierra, al tiempo que libera sobre ella raudales de calor y electricidad directamente aprovechables. La biomasa, por vía natural, resuelve a su vez, como ningún otro medio artificial, el problema de la acumulación de la energía solar para aplicarla donde *convenga* bajo las más útiles versiones; bien merecen estas posibilidades un análisis detenido para mejorar el rendimiento, tanto al generarla como al aprovecharla (Fig. 1).

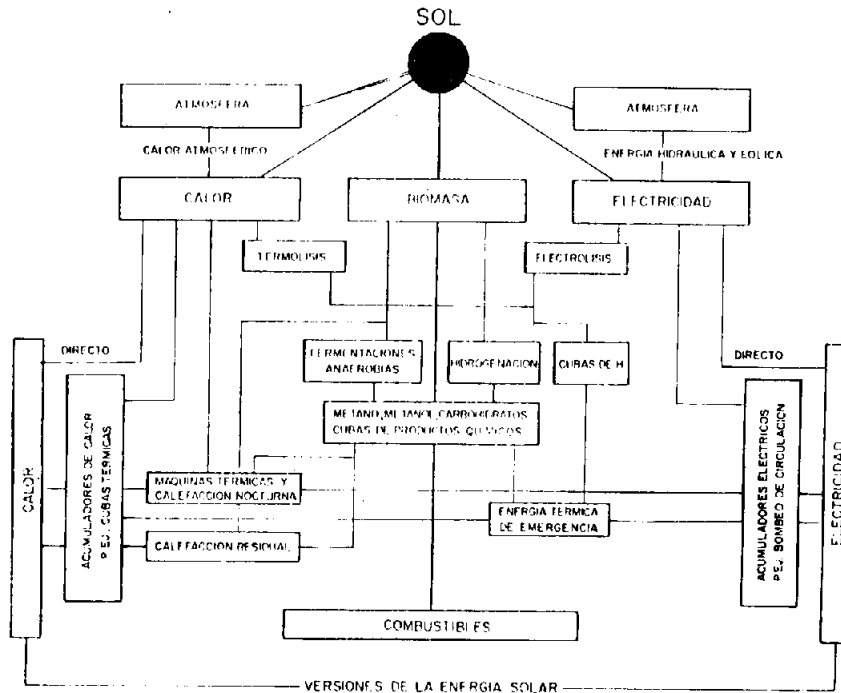
Operando sobre la biomasa, la bioindustria ha hecho posible abordar la elaboración de alimentos y productos químicos por vía microbiana y enzimática y también el aprovechamiento de la energía desprendida en ciertas fermentaciones, bien sea directamente bajo la forma de calor sensible o por el intermedio de gases simples o compuestos que actúen como portadores de ella y la liberen por vía química (9).

Con mayor amplitud de cometido, la bioenergética, cuando incluye el estudio de fotosíntesis, pasa a convertirse en fitoenergética, que no sólo analiza el proceso de desdoblamiento de la materia orgánica, sino que inversamente esclarece la formación de ésta en las plantas, sean silvestres o cultivadas, con lo cual cabría diferenciar dos campos, el de la fitoenergética y la agroenergética, distinción sutil, por otra parte, ya que difícil y de poca utilidad es

(9) Hall, C. W.: *Biomass and energy*. IX Internat. Congress CIGR. Michigan State Univ., 1979.

separar el aprovechamiento de la materia vegetal producida sin la intervención del hombre y la que es fruto de su trabajo como agricultor (10).

FIGURA 1



Por su parte, la morfología y la anatomía de la planta, sea simplicísima, cual ocurre en el origen de la escala biológica, confundiendo la vida vegetal con la animal o muy diferenciada como la de los soberbios ejemplares de la flora tropical, ávidos de crecer en el ubérrimo escenario donde arraigan, y, paralelamente la fisiología, como rectora de todos los fenómenos de la nascencia, la nutrición, el crecimiento y la reproducción vegetal, se someten al flexible y maravilloso programa que cada ser vivo ordena y acomoda como respuesta a las señales que recibe del medio donde habita.

(10) Gómez Campo, C.: *Cloroplastos y fotosíntesis*. Escuela T. S. Ingenieros Agrónomos. Madrid, 1973.

Factores extrínsecos, unos, e intrínsecos, otros, son los que gobiernan el proceso de la fotosíntesis, merecedores todos de un estudio minucioso, por partes, anatómico, y otro de su dinámica, fisiológico, tan intrincados ambos que nos dejan sumidos en la confusión de quien contempla los orígenes de la vida. Desviar la atención hacia la bioenergética no es más que un intento de realzar el valor de los que fueron seres vivos, se han convertido en fósiles y esperan la hora de degradarse dejando en libertad la energía solar que acumularon mientras crecían, con el correlativo aumento de la entropía del Universo.

Siempre el Sol, con toda su arrogancia, es el artífice principal de la continua creación de materia orgánica y por eso el hombre se sintió su vasallo e incluso vio al mismo Dios encarnado en él. La Tierra, por otro lado, dividida en zonas favorecidas y desamparadas, desoladas, para decirlo propiamente, dócil en su órbita a los cambios climáticos que la impone la inclinación del eje polar, la rotación y la traslación, alejándose y acercándose al foco desde donde los fotones la acribillan impasiblemente, sigue escribiendo su historia cosmogónica y dando a la Humanidad las indispensables facilidades cíclicas para subsistir.

Sería impropio analizar ahora si nuestra respuesta ha sido y es concordante con tanta grandeza y adecuada para disfrutar ordenadamente de las riquezas renovables y las no renovables que se nos brindan, pero es del caso destacar que la característica de las renovables es su periodicidad y diversidad, siempre fruto de los ciclos biológicos. El devenir incesante de los días y las noches y el de las estaciones a lo largo del año, dan fisonomía propia a los factores externos que tienen el aire como vehículo; por su parte la tierra, donde la planta hunde las raíces, rica de por sí en materiales nutritivos o enriquecida artificialmente, también es cambiante en el espacio y en el tiempo, más aún cuando el hombre interviene con las labores. El agua, en fin, asequible o esquiva, según imponga la hidrología y la climatología del lugar, pone término a muchas especulaciones y nunca pierde su carácter de factor limitante de la producción. Así, radiación, aire, tierra y agua se asocian

para ser los soportes físicos de la acción del hombre, siempre dispuesto a sacar provecho de la flora y la fauna que le alimenta, le viste, le proporciona materias primas y le hace dueño, con redoblados poderes energéticos, de su entorno terrestre para trabajar y solazarse, e incluso del espacio exterior, en una búsqueda nunca satisfecha del más allá.

Sin volar tan lejos, encontramos en la biosfera dilatado campo de investigación al contemplar, como origen de la agroenergética, los factores intrínsecos de la planta. Caen todos ellos en el pobladísimo dominio de botánicos, bioquímicos y genetistas, avaros por conocer su morfología, fisiología y exigencias ambientales, así como la intimidad de los mecanismos de la reproducción para afrontar la mejora vegetal, diríamos de dentro a fuera, manipulando como convenga el material cromosómico (genomio) y ello con una doble finalidad, bien sea para mejorar la productividad potencial, es decir, creando genotipos que por su morfología y características fisiológicas resulten capaces de dar mayores producciones, o con el propósito de mejorar la resistencia de las plantas confiriéndolas mayor vigor contra los agentes que tienden a disminuir la producción e incluso anularla (sequía, heladas, plagas, etc.) (11).

Hasta ahora, el genetista mejorador de plantas, ha hecho frente al reto de satisfacer la demanda de alimentos y materias primas que acompaña al crecimiento demográfico, pero le ha llegado también el día de mitigar la escasez de energía fósil que se avecina creando variedades que aprovechen, con suficiente rendimiento energético, la radiación solar, aun en circunstancias adversas, cuando las tierras fértiles y el agua ya tienen destino prioritario y los cultivos complementarios hayan de buscar para implantarse las zonas peor dotadas agrológica y climatológicamente. En cualquier caso, la fotosíntesis es el proceso de partida donde ha de ser centrada la atención de los investigadores y agrónomos cuando se trata de asegurar una cosecha energéticamente rentable (12).

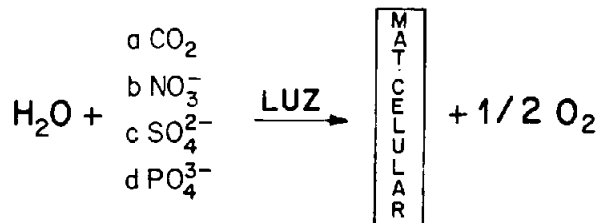
(11) Sánchez-Monge, E.: *Fitogenética*. INIA. Ministerio de Agricultura, Madrid, 1974.

(12) Hall, D. O.: *Will photosynthesis solve the energy problem*. Solar power and fuel, Academic Press, New York, 1977.

Fotosíntesis

Consiste, brevemente dicho, la fotosíntesis, en convertir la energía radiante de la luz visible en energía electrónica para hacerla aprovechable como energía redox. De este modo, a expensas de la energía solar, tiene lugar la síntesis endergónica de productos inestables, como los que componen las células, al mismo tiempo que se desprende oxígeno molecular, a partir de sustratos sin potencial químico alguno, como el agua, anhídrido carbónico, nitratos, sulfatos y fosfatos (13). En tal proceso, el carbono es reducido a partir del anhídrido carbónico y forma hidratos de carbono; el nitrógeno, de los nitratos, para formar amoníaco, y el azufre, de los sulfatos, con producción de sulfitos. En cambio, el fósforo, no altera su valencia, pero los fosfatos, originalmente inorgánicos, se enriquecen energéticamente. La energía redox, así acumulada en la materia celular, y el oxígeno molecular, por su parte, pueden liberar la energía disponible de los compuestos fosfatados, oxidándolos, durante la respiración, completamente (Fig. 2).

FIGURA 2



En esta secuencia de intercambios, los organismos fotoenergéticos convierten sin cesar una parte de la energía solar que incide sobre la biosfera (*PAR*, *photosynthetic active radiation*), en energía química para asegurar la subsistencia de los seres vivos que pueblan la Tierra. Como quiera que la energía solar incidente es del orden de 10^{17} W, aunque sólo se aprovechase la milésima parte, bastaría para cubrir diez veces el consumo de la industria mundial, que se estima en 10^{13} W.

(13) Losada, M.: *Photoproduction of ammonia and hydrogen peroxide*. Bioenergy: Energy from living systems, Int. Conf. Gottlieb Duttweiler Inst. Rüschlikon, Zurich, 1978.

Una vez sabido que la vida de nuestro planeta depende energéticamente de la fotosíntesis, es obvio que la fotólisis del agua se convierte en la primordial reacción endergónica de la bioenergética al disociar la molécula y liberar hidrógeno y oxígeno. Por su parte, la respiración de los organismos aerobios regenera, con el correspondiente consumo de energía, una parte del agua en la reacción inversa, propia de la oscuridad, pero las moléculas fosfatadas (*ATP, adenosin-triphosphate*) retienen el resto de la energía redox, una y otra vez, con el potencial de 1,24 V que se produce entre el electrodo de hidrógeno (0 - 0,42 V) y el del par H₂O/O₂ (+ 0,82 V).

La fotosíntesis exige, para realizarse con aceptable rendimiento, luz roja que a lo sumo tenga 680 nm de longitud de onda. Cuatro einsteins de la misma ($\Delta G'_0 = 703$ kJ) son precisos para disociar un mol de agua en hidrógeno y oxígeno ($\Delta G'_0 = 239$ kJ) formándose, al propio tiempo, por la reacción redox correspondiente, un mol de compuesto fosfatado de alta energía ($\Delta G'_0 = 31$ kJ), con lo cual el rendimiento de esta reacción es $270/703 \cong 0,4$. Por otra parte, la oxidación de un mol de hidrógeno durante la respiración ($\Delta G'_0 = -239$ kJ) va acompañada de la producción de tres moles del mismo compuesto fosfatado ($\Delta G'_0 = 93$ kJ) con rendimiento, por tanto, de $93/239 \cong 0,4$. Y así resulta que la fotosíntesis se realiza, en los organismos fotoergónicos que utilizan la energía solar, con un rendimiento del 16 por 100 teóricamente, valor comprobable a nivel de las hojas en un día soleado. Si en lugar de una hoja, se extiende el cálculo a la planta completa, refiriéndole al día entero, el rendimiento disminuye notablemente y queda entre el 2 y el 5 por 100 a causa de las pérdidas originadas en los procesos de absorción, traslocación y respiración oscura, además de las que produce el metabolismo general.

Desde el punto de vista práctico, y comparativo, el rendimiento de la fotosíntesis debe ser referido a la radiación que recibe la superficie total ocupada por el cultivo. En Madrid (40° 24' 30" lat. N), donde la radiación «PAR» anual es del orden de 26,5 TJ/ha, el rendimiento de la fotosíntesis, para un cultivo que produjera 10.000 kg/ha de ma-

teria seca cosechable, sería el 0,63 por 100 y sólo el 0,27 por 100 referido a la radiación solar total (14). Dicho se está que especies y variedades seleccionadas genéticamente para aprovechamiento energético proporcionarían mejor rendimiento, pero nunca tan alto como allí donde la radiación llegue a ser máxima y la fertilidad del suelo y las aportaciones de agua suficientes para aprovecharla, además, de oportunas estas últimas. Sirva como referencia el rendimiento de 3,8 por 100 de la caña de azúcar en Haway y 4,3 para el mijo forrajero en Australia.

Las especulaciones sobre las posibilidades de la fotosíntesis son esperanzadoras. Aunque sea de pasada y a título anecdótico valga citar otros sistemas realizados en el laboratorio y que podrían convertirse en manantial energético de interesante explotación; por ejemplo, la reducción del oxígeno hasta obtener peróxido de hidrógeno cuya viabilidad está ya comprobada en cloroplastos aislados, y también en algas celulares. Para fines bélicos, tal combustible, sirvió en la propulsión de submarinos y el lanzamiento de los cohetes balísticos V2; quien sabe si tomando como ejemplo a un modesto escarabajo del género *Brachinus*, el que vulgarmente se conoce con el nombre de «escarabajo escopetero» que utiliza el agua oxigenada para defenderse, gracias a dos glándulas, una cargada de solución acuosa de peróxido de hidrógeno al 25 por 100, con hidroquinona, y otra, superpuesta a ella, con mezcla de catalasa y peroxidasa. Ante el ataque de cualquier enemigo, el escarabajo, comprime las glándulas, una contra otra, para que reaccionen las cargas en un opérculo y huye protegido por la nube de vapor que se produce, con el oxígeno liberado, a 100° C.

Volviendo a los problemas de bioenergética, y más concretamente a la energía verde, insistamos en que la consecuencia inmediata del bajo rendimiento de la fotosíntesis es la necesidad de grandes superficies foliares expuestas a la radiación solar para que la biomasa alcance aprovechamiento industrial como fuente de energía renovable, máxime si las condiciones locales no son favorables. Considérese

(14) Fernández, J.: *Agroenergética. -La agricultura como fuente de energía-*. Asoc. Esp. de Economía y Sociología Agraria, Madrid, 1979.

que; además de la insolación, es muy de tener en cuenta la temperatura, la evapotranspiración, la difusión del anhídrido carbónico, la consistencia de las membranas e incluso la estabilidad de las proteínas.

El agua, por su parte, como queda dicho, tiene el carácter de factor limitante de la producción vegetal. Hacer frente con el riego a la insuficiencia y la incertidumbre de las precipitaciones, supone afrontar un gasto adicional que difícilmente puede ser soportado en la producción de biomasa para fines energéticos. Las investigaciones se suceden para explotar el descubrimiento, en ciertas especies (caña de azúcar, maíz, sorgo, etc.), del sistema fotosintético C4 que permite la formación directa de este compuesto como producto inicial de la síntesis del anhídrido carbónico sin pasar por la formación previa de azúcares como sucede en las especies del grupo C3 (trigo, remolacha azucarera, especies forestales, etc.); ello lleva consigo no sólo una notable sobriedad de la planta, sino, al mismo tiempo, una marcada resistencia a las débiles concentraciones de anhídrido carbónico. La fotorrespiración y su control ocupa lugar preferente en los programas de investigación, pues al disipar, como queda dicho, hasta el 40 por 100 de los carbohidratos sintetizados, rebaja el rendimiento de la fotosíntesis proporcionalmente. Para remediarlo hay que acudir a la aplicación de inhibidores químicos que produzcan el bloqueo de la fotorrespiración o ahondar en la mejora genética en busca de genotipos con estomas que regulen mejor la evapotranspiración y además cierren el paso a ciertas infecciones criptogámicas que destruyen el aparato foliar.

La estructura del suelo y su fertilidad, cuando no alcanzan un valor óptimo en cada lugar para el fin que se persiga con el cultivo, han de ser corregidos para activar la fotosíntesis mediante labores (15), y fertilizantes, éstos muchas veces aplicados por el agricultor con notorio exceso sin reparar en el coste y los efectos contaminantes. La fijación directa del nitrógeno atmosférico pasa a ser así objetivo prioritario en los programas de mejora genética.

(15) Aranda Heredia, E.: *Laboreo óptimo*, VIII Conf. Int. Mecanización Agraria. ANIA, Zaragoza, 1976.

La repetida cita de las conquistas de la fitogenética para obtener líneas que respondan satisfactoriamente a las características del medio donde se cultivan no basta para silenciar la importancia del plan de cultivos elegido al decidir si la empresa agrícola debe combinar los valores bromatológicos y los energéticos de la cosecha o explotarlos separadamente. Quizá podría afirmarse que la agricultura es la mayor esperanza para la población hambrienta del mundo secundada por la agroenergética que avanza para servir además a la industria alimentaria (16).

La industria bioquímica

En efecto, las reacciones básicas de la fotosíntesis nos han puesto en el camino de una industria bioquímica y alimentaria de nuevo estilo, donde los microorganismos trabajan en silencio para producir ácidos aminados, enzimas y energía inclusive, con perfecta precisión. No pocas veces, además, los subproductos, en vez de constituir residuos contaminantes, pueden servir como materia prima de otras industrias que los revaloricen.

La vanguardia de este movimiento hay que buscarla en la biología molecular que es donde se funde el saber de genetistas, bioquímicos y microbiólogos. Sus conquistas no tendrán que esperar para pasar a manos de la ingeniería siempre dispuesta a explotarlas con sus métodos ejecutivos, esos que también han penetrado en el laboratorio para ayudar en la búsqueda de las estructuras elementales del ser vivo y dar a luz la ingeniería genética y molecular, con personalidad propia (17). A ella se debe, en efecto, la transferencia de ciertos genes en las bacterias para que éstas produzcan sustancias de valor industrial: cita especial merece la fabricación de abonos nitrogenados mediante la fijación del nitrógeno atmosférico en las bacterias cuya vida se desarrolla en simbiosis con ciertos vegetales, de antiguo conocida en los *rhizobium* de las leguminosas.

(16) Council of Europe: *European Conf. on living systems as energy converters*, Pont-a-Mousson, 1976.

(17) García Olmedo, F.: *Ingeniería molecular en «triticum»*, *Avances de Bioquímica*, Ed. Salvat, Barcelona, 1978.

Vale la pena insistir en ello cuando es notoria la insuficiencia de los recursos nitrogenados de consumo corriente y contemplamos cómo, en la naturaleza, el nitrógeno del aire es transformado en amoníaco, gracias a la intervención de una enzima —la nitrogenasa— que está presente en el proceso. Este catalizador biológico y la transferencia de genes aptos para la fijación del nitrógeno atmosférico en las bacterias de las plantas hace entrever la posibilidad de producir grandes cantidades de nitrógeno, aprovechable agrícola o industrialmente.

También los microbios llegarán a dar nuevas y mejores soluciones para la alimentación animal cuando su actividad no guarde relación con las superficies de terreno disponibles y sea el agua su medio de cultivo y el sol, siempre, quien sostenga la dinámica del proceso fotosintético. Debemos a Beneman (18) el enlace de los cloroplastos y la hidrogenasa para realizar la fotólisis del agua utilizando los electrones cedidos por ésta al realizarse el fotosistema II en la membrana de los cloroplastos. Con esta experiencia y las que se sucedieron con algas, como la *Spirulinae*, portadoras de hidrogenasa, quedó explicada la génesis de hidrógeno y también la doble función de una nitrogenasa, contenida en los heterocitos, que puede sintetizar alternativamente nitrógeno (19). Esta propiedad es la que ha permitido aprovechar las algas cianofíceas de agua dulce, bien conocidas en el lago Tchad por el color azul que dan a las orillas; sus pigmentos enzimáticos tienen la propiedad, en efecto, de captar la mayor parte del espectro solar y fijar el nitrógeno convirtiéndose en materia rica en ácidos aminados aprovechable como alimento proteico. Por otra parte, la rapidez de su crecimiento y la gran superficie de su configuración espiralada, las hacen fácilmente accesibles a las bacterias anaerobias y por ello utilísimas como material para la metanización.

Las algas *Spirulinae* son ya objeto de aprovechamiento industrial para producir proteína en instalaciones sencillas de algocultura, que se reducen a estanques alargados de

(18) Beneman, J. R.: *Proceedings Nat. Ac. of Sciences* núm. 70, USA, 1973.

(19) Hall, D. O.: *Hydrogen production by algae and isolated chloroplast. Proceed. Europ. Seminar on biological solar conversion systems*, CNRS, Grenoble-Autrans, 1977.

poca profundidad, protegidos contra la contaminación, el polvo y los insectos con material transparente y provistos de un colector solar plano en uno de sus extremos y una chimenea en el otro para asegurar la circulación del aire portador del anhídrido carbónico y estabilizar la temperatura a nivel ligeramente superior al ambiente.

La algocultura de especies marinas está consagrándose en California, una vez resueltas las dificultades que planteaban a la hora de la recolección las especies globulosas sustituyéndolas por otras filamentosas que se desprenden y escurren el agua sin dificultad. La utilidad del sistema se hace más notoria si es empleado para otros fines como el tratamiento de basuras, desperdicios y aguas residuales, depuración de agua y recuperación de las materias fertilizantes.

La versión terrestre de la explotación de las algas marinas en balsas de agua salada, cerca de la costa, es también una promesa para la producción de biomasa utilizable como pienso o materia prima de fácil metanización (20).

El ejemplo ofrecido por la naturaleza en la fotosíntesis ha tratado de imitarse artificialmente en el laboratorio, incluso corrigiendo el proceso natural para separar, en el momento crítico de la escisión de la molécula de agua, mediante las denominadas «membranas vectoriales», el hidrógeno liberado, por una parte, y por otra, el oxígeno, sin dar tiempo a la formación de los compuestos orgánicos que sirven, de ordinario, para almacenarle en la materia celular.

Muchos investigadores, desde las clásicas experiencias de Marcus, en 1958, han conseguido artificialmente la fotólisis del agua y generar potenciales eléctricos aprovechables en un circuito exterior haciendo incidir la radiación sobre sistemas heterogéneos de los que, a veces, forma parte la clorofila y otros pigmentos orgánicos para comportarse como verdaderas hojas sintéticas, pero todavía está por ver si el proceso es reproducible y aprovechable a pleno campo y económicamente, dado que la producción de hidrógeno

(20) Fox, D. F.: *Village-level systems for algoculture*, *Proceed. Europ. Seminar on biological solar conversion systems*, CNRS, Grenoble-Autrans, 1977.

sólo ha llegado a 0,2-0,4 m³/m² día, a la presión atmosférica y ello implicaría ocupar enormes superficies de terreno para implantarlo.

Abiertas quedarán siempre las especulaciones sobre el poder de la luz en la actividad biológica, para los investigadores. Cualquier persona, también, puede recapacitar sobre los fenómenos corrientes que, gracias a la radiación solar, se suceden en su propio cuerpo y a su alrededor y confirman la fuerza creadora del sol, en todos los grados de la vida vegetal y animal. ¿Cómo no admirar los mecanismos que la naturaleza ha previsto para que los pobladores de la Tierra se valgan casi automáticamente a sí mismos y contra sus enemigos? Fuera de lugar estaría ahora traer ejemplos de los estímulos que no percibe el hombre y son privativos de otros seres, altos y bajos en la escala biológica, pero no es ocioso recordar que la recepción y proceso de las señales luminosas que desencadenan nuestro comportamiento tiene en todos ellos acusada semejanza. Un fotón incidiendo sobre un pigmento sensible ha hecho arrancar la fotosíntesis, y también otro, idéntico, excitando las fibras nerviosas periféricas, es el origen de las actitudes pasivas, agresivas o defensivas del individuo, y un tercero, idéntico a los anteriores, se ha filtrado por la pupila para incidir en la retina, modificar la estructura molecular de la redopsina y descomponerla en una componente proteica y otra pigmentaria que será sintetizada, en un proceso inverso, en el interior de los bastoncillos retinianos y así repetir ininterrumpidamente, mientras haya luz, el conocido «ciclo retiniano de la redopsina», tan afín al ciclo redox de los sistemas fotosintéticos clorofilianos, incluso por las dudas que se suscitan sobre el proceso fotoquímico determinante de las modificaciones de las membranas y la excitación final de los órganos vivos del animal o la planta.

Mucho han profundizado las investigaciones en este campo de los estímulos fotonerviosos sin lograr todavía su total esclarecimiento, alguna de ellas propia para animar cualquier conversación intrascendente, como ocurre con la incapacidad de distinguir los colores cuando la retina está provista sólo de bastoncillos y carece de conos, típica de

los bóvidos, incluido el toro de lidia, naturalmente. Resulta inexplicable que éste, a pesar de ello, reaccione enfurecido embistiendo a la capa roja con que el torero le provoca. ¡Misterios de la ciencia y de la tauromaquia!

La cosecha energética

Desde que pasó a la historia el agricultor autónomo cultivador de la tierra y ganadero a la vez que acopiaba con las cosechas los alimentos y fibras para abastecerse a lo largo del año, se hizo cada día más raro, ante la competencia de los combustibles fósiles y la electricidad, el aprovechamiento de las partes vegetales ricas en lignina para producir calor, convirtiéndolas en combustible doméstico o industrial. Hoy, todavía insensibles a la necesidad de aprovechar íntegramente la energía química acumulada en la materia vegetal, se ha convertido en un gasto más de las cuentas del agricultor, la saca de la madera de poda, por ejemplo, que antes se valoraba como producto, por ser el combustible rural por excelencia, bien sin transformar o convertido en carbón vegetal. Justo es, sin embargo, recordar el corto paréntesis que en esta carrera de devaluación de los combustibles vegetales vivimos en la segunda guerra mundial, cuando más de una máquina de vapor se limpió las telarañas para volver por sus fueros, y los gasógenos despertaron a los motores fijos, y automóviles que sufrían el colapso del racionamiento de la gasolina, recordándonos insistentemente que en sus orígenes eran alimentados con gas de ciudad y gas pobre.

Después de cuanto queda expuesto, sólo cabe reafirmar que la finalidad prioritaria de la cosecha ha sido hasta ahora producir alimentos y fibras industriales. El nuevo horizonte que nos descubren las circunstancias aparece ensombrecido con la disputa que por la ocupación de la tierra se ha de suscitar entre los cultivos tradicionales y los que específicamente se destinan a la producción de energía. Tan apasionada como esa pugna por el suelo, en los países donde el sol luce con generosidad, es la que se entablará por el agua, pues a ella deben las plantas el hidrógeno que sintetizan con el carbono del aire y el oxígeno para respirar.

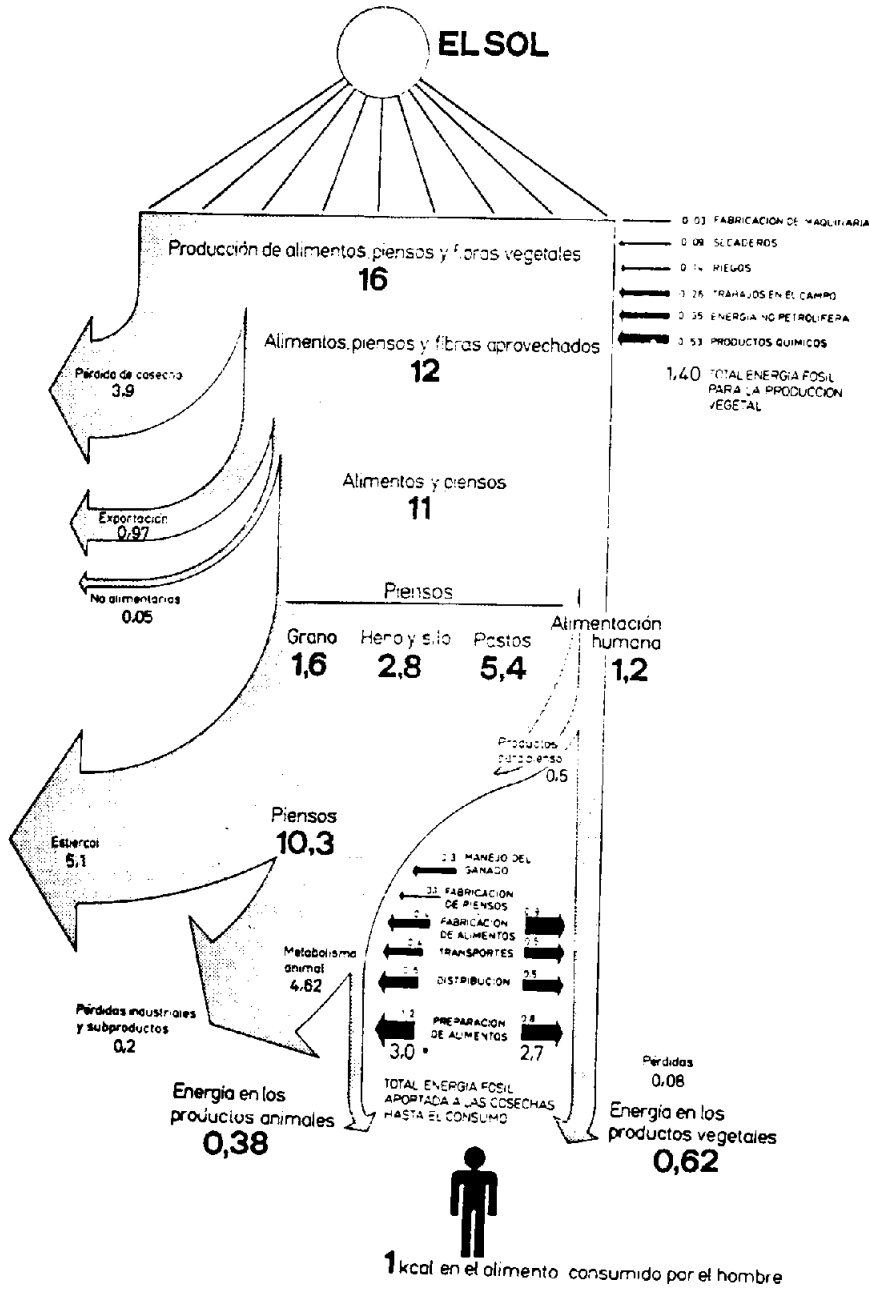
La conclusión es que grandes cosechas, con fuerte aprovechamiento de la energía solar, requieren tierras fértiles y agua a discreción, sean los fertilizantes y el agua aportados por la naturaleza o artificialmente, con el ineludible apoyo de energía exterior (21) (Fig. 3). Para ello no hemos reparado en forzar la investigación dirigiéndola a redoblar las producciones con la mejora de plantas, costosas labores y el pródigo empleo de fertilizantes y plaguicidas, sin reparar en el balance energético. Ahora nos damos cuenta, por ejemplo, de que si la cosecha de maíz grano en U.S.A. fue el doble en 1970 que en 1945, cuando en las regiones más progresivas se empezaba a hablar de los abonos, fue a costa de que el rendimiento energético (relación entre la energía contenida en la cosecha y la invertida para producirla) bajase de 3,7 a 2,8 por culpa de las grandes dosis aplicadas de abonos, nitrogenados principalmente, en su mayoría de origen petroquímico. Un paso más y comeríamos petróleo, a sabiendas de que los residuos agrícolas, ganaderos y urbanos se ofrecen para reemplazarle con la tecnología adecuada.

A estos efectos hay proyectos que merecen ser analizados con atención. El más importante por su dimensión es el brasileño, que pretende haber sustituido en 1980 el 20 por 100 de la gasolina por alcohol etílico, obtenido de la caña de azúcar principalmente, lo cual no es, ni mucho menos, imposible, tratándose de un país tropical extensísimo y virgen con óptimas características agrológicas y climatológicas.

Los norteamericanos, mucho más pragmáticos, se inclinan, al parecer, por el cultivo de especies arbóreas de rápido crecimiento y fáciles de cosechar mecánicamente cuando jóvenes, dejando el rebrote para aprovechamientos sucesivos, habida cuenta de que el maíz, por ejemplo, sólo devuelve cinco veces la energía que recibe, en el mejor de los casos, mientras ciertas especies forestales la multiplican por cuarenta. Nada despreciable es, sin embargo, el riesgo

(21) White, D. J.: *Efficient use of energy in agriculture and horticulture*, The agricultural Engineer núm. 3, IAE, Silsoe, Bedford, 1979.

FIGURA 3
Esquema energético de la producción agrícola
y la alimentación humana en Norteamérica



de incendio que siempre pesa sobre las masas forestales, particularmente en las regiones áridas, durante los días calurosos del verano.

Fieles siempre a su doctrina económica y apremiados por aprovechar las inmensas extensiones que ahora son terrenos marginales, se fijan también en las especies que mejor soportan las adversidades climatológicas y ensayan, al efecto, en zonas semidesérticas de California, el cultivo de la *Euphorbia latiris* y la *E. tirucali* para aprovechar el latex de sus hojas, emulsión acuosa de hidrocarburos reducidos, que tanto representaba en la economía de Indonesia y en la brasileña de principios de siglo, en la Amazonia, sobre el río Negro, antes de generalizarse el obtenido por polimerización de hidrocarburos fósiles e incluso del carbón. Queda por ver la mecanización del guayule y su industrialización a gran escala para obtener un combustible que compita con el petróleo y el gas natural, a pesar del encarecimiento de ambos y de la declaración del profesor Calvin, Premio Nobel de Química, afirmando que en sus experiencias ha obtenido 3.000 litros de combustible por hectárea y año y espera obtener 4.000 litros con un coste de veinte dólares por barril, es decir, menor que el del petróleo fósil cotizado ya a treinta y cinco dólares en el golfo Pérsico.

La ocupación de terrenos marginales, eriales y baldíos, para favorecer el desarrollo de la flora autóctona con fines energéticos o implantar cultivos herbáceos y arbóreos para reemplazarla, ha de encontrar serias dificultades por la calidad y configuración del suelo, en general abrupto y pedregoso y, por ende, impropio para cualquier intento de mecanización, aparte la incompatibilidad de los cultivos con los aprovechamientos ganaderos en régimen de pastoreo y también la caza, que proporciona, a veces, una renta nada despreciable

La disputa que tienen entablada las cosechas según su destino ha de centrarse, sin tardar, en el balance energético. Efectivamente, la administración de la empresa agraria se ha limitado, por lo general, a recoger diariamente todos los movimientos contables para formular una mera cuenta de resultados y calcular el beneficio del ejercicio sin dar la

debida importancia a los acopios de materias primas y energía cuando ambas pueden escasear mundialmente. La ley de la oferta y la demanda, si juega sin trabas, se encarga de reflejar en los precios todos los matices comerciales que, por otra parte, no pasan desapercibidos al empresario perspicaz ni al gobierno previsor.

Pero sería mucho mejor que, para tomar las decisiones, fueran conocidos los índices típicos de la empresa agrícola contenidos en un balance energético hecho con minuciosidad, a semejanza del que es corriente en las empresas industriales bien administradas técnicamente. Los conceptos de energía instalada, energía utilizada, consumo por obrero, consumo por unidad producida y tantos otros índices que trazan el perfil energético de la empresa industrial (22) no tienen paralelo en la empresa agraria contemporánea por falta de datos actuales fidedignos, aunque antaño diera ejemplo relacionando yuntas, obradas y fanegas, para hacer una valoración rápida de la hacienda.

En consecuencia, es preciso poner fin al desconocimiento de las aportaciones energéticas realizadas a lo largo del ciclo de producción que se estudia, analizándolas en las distintas especies de cultivo y ganado, las industrias y los montes, con el doble objetivo de determinar la distribución de las necesidades de energía, según su procedencia, en cada operación y establecer los niveles de mecanización con arreglo a baremos internacionales que permitan formar juicio del proceso de desarrollo de la agricultura dentro de las distintas regiones del país y compararlo de paso con el de otros países (23).

El estudio analítico mencionado se hace todavía más necesario cuando las circunstancias obligan a establecer con exactitud la incidencia de las variaciones de precio de la energía en los costes de producción y buscar, si llega el caso, la sustitución de la que se haga antieconómica por la que sea más ventajosa a corto y largo plazo, introduciendo los incentivos aconsejables para el cambio.

(22) Varios autores: *Situación energética de la industria*. Centro de Estudios de la Energía. Ministerio de Industria y Energía. Madrid. 1979.

(23) Carillon, R.: *L'analyse énergétique de l'acte agricole*. Etudes du CNEEMA núm. 458. Antony. 1979.

Todavía cabe explotar mejor la información precedente si se aprovecha para promover campañas de ahorro de energía, centrando la atención de los usuarios en las numerosas aplicaciones que se hacen con mal rendimiento.

Salta a la vista que un análisis como el propuesto implica contar con la organización adecuada, es decir, con personas capacitadas y dispuestas a afrontarlo sin desmayar ante la complejidad de las situaciones que han de presentárseles. Una vez más se echa de menos, entre los agricultores de vanguardia, la selección de aquéllos que estarían dispuestos a colaborar en los correspondientes trabajos experimentales. Dicho se está que, sin ellos, cualquier iniciativa para adelantarnos a afrontar la crisis energética que se ha desencadenado sería inviable.

Recuperación de residuos

Las consideraciones precedentes hacen fijar la atención en el aprovechamiento de los residuos vegetales y animales, pero, otra vez, aparecen las prioridades según su destino sea para alimentación ganadera o como materia prima para industrias que los transformen en materiales de uso general, pues la paja y los tallos secos tienen, muchas veces, buen aprecio para fabricar papel y aglomerados de construcción, por ejemplo.

La fermentación de los residuos vegetales puede, por lo dicho, cuando no son apetitosos, pero conservan valor nutritivo, acometerse económicamente siempre y cuando los transportes para concentrarlos en la planta de transformación no sean tan costosos que aconsejen enterrarlos e incluso quemarlos *in situ* a despacho de su valor energético.

Los residuos animales, el estiércol, sobre todo, puede recuperar la estima que en otro tiempo tenía e incluso aumentarla si se hace un desdoblamiento previo, por fermentación anaerobia, que proporcione metano y materia sólida, sumariamente despojada de parásitos y gérmenes patógenos, con positivo valor fertilizante, siempre y cuando

se logre mecanizar el proceso y estabilizarle a temperatura invariable (24), dando, de paso, una ocasión más de aprovechar la energía solar con colectores planos para tal fin. Las grandes vaquerías y los cebaderos de ganado vacuno, con elevado número de cabezas, cuando están unidos a una explotación agrícola, encuentran recursos para separar previamente el purín e incorporarlo a la red de riego por aspersión. Las porquerizas también admiten una organización parecida, pero venciendo las dificultades inherentes a la composición de los residuos.

En último lugar, la pirolisis y la combustión total para producir calor en instalaciones fijas ponen punto final a la larga aventura de la degradación de la energía contenida en la materia vegetal. Bien merecido tiene el nombre de «gas pobre», el que proporcionan los gasógenos y poco es lo que puede esperarse de la combustión final del carbón de madera reducido a ceniza cuando ha de competir en la producción de calor con el de los yacimientos fósiles de mejor calidad, y cuyo precio no es de temer aumente tanto como el del petróleo a pesar de que su síntesis para producir hidrocarburos que sustituyan a éste haya de revalorizarle tarde o temprano.

Dedúcese de lo expuesto que la biomasa residual en poder de los agricultores recuperará valor imperativamente, pero una vez más habrán de ser conciliadas las voluntades para que las instalaciones destinadas a su aprovechamiento alcancen capacidad suficiente para ser rentables y tengan asegurado, además, su abastecimiento por los interesados. La dispersión e indecisión características de los agricultores, sobre todo en el área mediterránea, no favorecen nada el aprovechamiento energético de los subproductos y desperdicios, pero habrán de ser superadas convenciéndoles de que ha terminado la era del derroche y ayudándoles, con subvenciones y facilidades financieras, para afrontar las cuantiosas inmovilizaciones de capital en las nuevas instalaciones energéticas. Dicho se está que antes de acometerlas es preciso profundizar en el análisis energético de la

(24) Dohne, M. E.: *Production de biogaz: a partir de déchets agricoles organiques*, CEE. Groupe FAO/CEE WP2/R38. Genève, 1979.

empresa y asegurar en este terreno su rentabilidad, pues bueno fuera, como queda ya dicho, que el proceso de conversión implicará invertir más unidades importadas de energía que las devueltas por la instalación.

Otros recursos energéticos renovables

A poco que se profundice en el análisis de la demanda energética actual, salta a la vista que la electricidad es preferida para todas las aplicaciones en lugar fijo o incluso los transportes por ferrocarril. En la tracción, sin embargo, el petróleo se ha hecho dueño de la carretera y no tiene rival cuando los tractores han de trabajar fuera de camino, como es el caso de la agricultura. También desbancó al carbón para producir electricidad en las centrales térmicas apoyándose en sus ventajas como combustible más rico y de fácil manejo, aparte su seductora baratura. Hoy, ante la escalada del precio, es ineludible volver al carbón y rebuscar entre los demás recursos energéticos de la naturaleza, aquellos que pueden hacerle competencia en circunstancias favorables.

Ciertamente, mar y tierra, encierran reservas renovables, además de las estudiadas bajo los epígrafes precedentes, que no pueden seguir siendo menospreciadas para producir energía eléctrica aprovechable *in situ* e incluso incorporándola a los circuitos comerciales de la comarca. Tal es el caso de las mareas, cuyo enorme potencial desperdiciamos contemplativamente dos veces al día; la central mareomotriz de La Rance, en Bretaña, y el grandioso proyecto de la Bay of Fundy, en Canadá, cuatro veces mayor, que está a la espera de verse convertido en realidad, abrirán camino con la experiencia adquirida para otras empresas todavía más audaces desafiando las típicas dificultades de la cimentación frente al mar abierto y el arrastre de arenas abrasivas al descargarlas el agua a través de las turbinas, aparte el desfase horario de las mareas, tan desfavorable ciertos días para ajustar producción y consumo y la incidencia ecológica de la instalación, sobre todo en materia de pesca.

El monótono y permanente oleaje de algunas costas, en contraste con la gran amplitud de las mareas, atrae el ingenio de los inventores, que tratan de captar la energía de las olas con mecanismos montados en plataformas flotantes o semihundidas; un eje armado de piezas excéntricas alineado paralelamente a la cresta de las olas entra en rotación y acciona el generador de que va provisto. La resistencia de la estructura a los embates del mar y a la corrosión, la estanqueidad de las transmisiones y el tendido de la línea de transporte en el tramo marino están todavía por resolver satisfactoriamente.

El potencial térmico de las profundidades abisales del océano ya fue advertido, hace cien años, por D'Arsonval. La diferencia de temperatura (alrededor de 15° C) puede ser utilizada en un ciclo termodinámico para producir trabajo empleando amoníaco, por ejemplo, como agente de la transformación. Condensado éste con el agua fría del fondo, podría evaporarse en la superficie caliente de los mares tropicales para mover un turbogenerador, con muy bajo rendimiento ciertamente, pues basta recordar que éste nunca llegaría a ser el teórico de un ciclo de Carnot cuyo valor en este caso es de: $\eta = \Delta T/T \approx 15/300 = 0,05$, habida cuenta, además, del fuerte consumo de energía para bombear el agua. Más importante es el salto térmico aprovechable a partir del agua de refrigeración de las centrales nucleares, bien sea para producir electricidad o proveer a la calefacción industrial o agrícola de instalaciones próximas, invernaderos, por ejemplo.

En tierra firme la captación de la energía está mucho más dominada en su versión mecánica (viento), térmica (solar, geotérmica) y eléctrica (fotopilas solares).

El aprovechamiento de la energía eólica tiene una larguísima historia, como queda dicho en otro lugar, al recordar los molinos de viento y la navegación a vela. La dificultad característica del sistema radica en la inseguridad meteorológica y la extrema irregularidad y turbulencia de las corrientes atmosféricas, sobre todo cerca del suelo, por la influencia de la configuración del terreno y la vegetación. A pesar de estos inconvenientes, las observaciones meteorolo-

lógicas avanzadas desde las naves espaciales y, sobre todo, el sorprendente desarrollo de la aerodinámica aseguran ya prometedores resultados a los turbogeneradores eolianos situándolos en parajes bien escogidos; en las costas, por ejemplo, donde se cuente con vientos regulares de velocidad comprendida entre 4 y 7 m/s, óptima desde el punto de vista constructivo, tanto de la infraestructura como de los rotores, sabido que la fuerza aplicada sobre las palas aumenta con la tercera potencia de la velocidad del aire y que en el extremo de la pala se duplica, en los modelos de marcha lenta, mientras llega a ser 8-10 veces mayor en los rápidos, con la consiguiente multiplicación de las fuerzas que solicitan el sistema dinámicamente.

Para formar idea de la capacidad y dimensiones de los aerogeneradores, puede recordarse que el Hütter con rotor de eje horizontal de dos palas de 113 metros de diámetro y paso variable, va montado en un castillete metálico de 65 metros de altura y produce 3 MW. Por su parte, la turbina de eje vertical tipo Darrieus, con rotor de palas rectas que se deforman cuando en la rotación se acorta el eje polar de la superficie descrita por ellas, recupera interés al cabo de cincuenta años de patentarla, gracias a sus discretas dimensiones y buen rendimiento, hasta con viento de 15 m/s; un rotor de sólo 12 metros de diámetro, a esta velocidad, produce 100 kW, siendo así que un rotor convencional con dos palas necesita tener 34 metros de diámetro para desarrollar aquella potencia.

Resulta obvio que las soluciones apuntadas para generar electricidad con instalaciones eolianas de gran porte nunca serán directamente aplicables a la agricultura, pero no cabe duda de que, al correr del tiempo, harán una aportación apreciable a la red costera que atienda la demanda de los cultivos terrestres y marinos y las industrias conexas, una vez resueltas todas las dificultades estructurales y mecánicas, así como la regulación automática de la velocidad; con precisión suficiente, está, como para asegurar que las características de la corriente eléctrica concuerdan con las de la red comercial para que pueda recibirla sin reservas. Afrontar, en otro caso, su acumulación con las grandes inversiones que la acompañan, resultará casi siempre antieconómico.

mico; sugestivo, pero más costoso todavía, es aplicar la energía para producir hidrógeno por electrólisis del agua y alimentar con él los correspondientes turboalternadores, desafiando los graves peligros de almacenar el gas en los correspondientes tanques reguladores.

A escala que pudiera llamarse agrícola, con fines limitados al servicio de un caserío, los motores eolianos han de recuperar, sin tardar, el mercado que tuvieron a principios de siglo, cuando todavía no estaban generalizados en el campo los grupos motobomba para elevar agua. Todavía se ven algunos con el depósito acumulador integrado en el castillete metálico y su simplicísima bomba de cilindro y émbolo haciendo frente al abastecimiento de la vivienda y las dependencias ganaderas, mientras les llega el relevo con aerogeneradores que proporcionen energía eléctrica barata para cualquier uso. Uno de ellos es el Allgaier/Hütter, con rotor de 11,3 metros de diámetro y tres palas de paso variable que desarrolla 4 kW.

La energía solar es, como queda dicho (25), el más prometedor recurso energético para el agricultor, familiarizado de siempre, cual ningún otro empresario, para juzgar hasta dónde llegan las posibilidades meteorológicas del lugar y sacar de ellas el mejor partido. Sin entrar en pormenores de su captación a baja temperatura (60° C) con colectores planos o con colectores de concentración y torres solares para otros fines a alta temperatura e incluso empleando fotorpilas, es del caso insistir, una vez más, en la incertidumbre de la captación y la necesidad de afrontar el gasto suplementario de un sistema de acumulación adecuado al destino final de la energía. Y tal insistencia se justifica más cuando podría pasar desapercibida la excelente asociación que ofrecen unidos el sol y el viento para hacer más llevadera aquella inversión de los acumuladores térmicos dándoles el doble destino de acumular la energía de ambas procedencias.

Bien hacedero es, en efecto, acoplar al aeromotor, junto al generador de electricidad, una bomba de calor y añadir

(25) W. A. E. S.: *Energy global prospects 1985/2000*. Mc. Graw-Hill Book, Co., New York, 1977.

así una nueva fuente de energía para alimentar el acumulador. Este la recibiría entonces por tres vías distintas: la bomba de calor, las resistencias térmicas acopladas al circuito eléctrico y los colectores solares, contando con que, más de una vez, el sol y el viento pueden darse cita para actuar simultáneamente y acelerar la carga. Un detenido estudio del lugar y de las circunstancias meteorológicas, se sobrentiende que es previo a cualquier decisión sobre tal fórmula compleja de captar la energía solar con fines agrícolas.

La conversión directa de la energía radiante del sol en energía eléctrica es, por último, solución de abierto porvenir para instalaciones localizadas poco accesibles a las líneas rurales de la red general, pues el ahorro de tenderlas podría permitir pagar el elevado precio que todavía tienen las fopilas y los acumuladores que ineludiblemente las acompañan. El ser sensibles a la radiación directa y prodigarse ésta menos que la difusa en ciertos lugares, obliga a emplear concentradores, que encarecen todavía más la instalación.

Dos comentarios son concluyentes a la hora de enjuiciar el futuro económico de la captación de la energía solar, considerando como tal, también, la que mueve las turbinas eólicas. Uno, de interés capital, es la amortización y conservación de las instalaciones, sabido que están abiertas a la intemperie, sometidas a permanente degradación por la luz, calor, frío, hielo, nieve, granizo, viento, a veces huracanado, polvo acompañándole siempre, animales y vándalos que las visiten. Difíciles son de valorar los desperfectos por lo que afectan al rendimiento de la instalación y más aún los daños ocasionados, muchas veces costosos y largos de reparar.

El segundo comentario concierne a la inversión inicial que nunca será tan rentable cuando el proyecto se aplique sobre edificaciones existentes como en obras de nueva planta, especialmente concebidas y construidas para la captación solar, pues en aquéllas, además de afean la perspectiva y trabajar con el pie forzado de zafarse de la sombra proyectada por las construcciones circundantes, tendrán los

proyectistas que ceder a imperativos de la obra antigua, ya que ésta raramente consentirá dar a los captadores su orientación óptima.

Una reflexión final, si se quiere acelerar el desarrollo de las instalaciones que aprovechen energía renovable en general y particularmente la energía solar, aflora al estudiar la financiación, pues sabido es que cualquier inversión implica desequilibrio en la liquidez de la empresa y sólo se justifica si está demostrada su rentabilidad. Subvenciones a fondo perdido y préstamos a bajo interés y largo plazo que se amorticen con las economías previstas, como los que fueron apuntados al tratar de la recuperación de residuos, son estímulos indispensables para mover la voluntad del empresario. Ejemplo digno de imitar, el de la ERDA norteamericana.

Conclusión

La agricultura, lo mismo que la industria, deben su auge al imperio de la energía inanimada. Mejor agricultura con menos agricultores fue la respuesta de la técnica al reto de una población en incesante aumento, imposible de abastecer con la agricultura autárquica que tenía por símbolo el motor de sangre. El sol de cada día, insuficiente para acelerarla, hubo de complementarse con el que quedó enterrado en los yacimientos fósiles, a fin de disponer de redoblada energía y renovada fertilidad como premisas para aumentar la producción. Dos consecuencias son obvias: una, que la larga evolución desde el caballo hasta el tractor es irreversible, y otra, que el abastecimiento de energía fósil para la agricultura, desde las industrias de cabecera hasta las agroalimentarias, necesita quedar permanentemente asegurado.

Mejorar el rendimiento energético de plantas, animales y máquinas y poner en práctica cuantas soluciones ofrecen las más avanzadas técnicas para aprovechar íntegramente cosechas, subproductos y desperdicios, así como todos los demás recursos energéticos renovables que están al alcance del agricultor, es el afán que ha de dominar en las ciencias aplicadas para ilustrar la experiencia milenaria que aquél atesora como administrador del manantial infinito de vida que es el Sol.

RÉSUMÉ

Depuis dix mille années, l'homme a eu besoin de se pencher sur l'agriculture, forcé par la croissance démographique, et il a compris que c'était au Soleil qu'on doit tous les ressources renouvelables et une bonne partie de ceux qui ne le sont pas, comme le charbon et le pétrole, avidement consommés par la société contemporaine. La technique agricole, dans ces circonstances, doit faire face pas seulement à la subsistance humaine mais aussi contribuer à satisfaire la demande énergétique, en se servant de son contrôle sur la photosynthèse et de tous les autres processus biologiques et chimiques que conduisent à la synthèse organique ou à la dissociation des éléments combustibles que forment la matière végétale, dès les algues jusqu'à les plantes laticifères. Le texte en question inclut un bref exposé sur les systèmes énergétiques renouvelables les plus prometteurs.

SUMMARY

Ten thousand years ago, man compelled by demographic growth found the need to rely on agriculture and he realised then that all renewable resources as well as a good part of non renewable ones, such as coal and petroleum, avidly consumed by present society, were due to the Sun. Agricultural technology, under these circumstances, had to provide not only for human subsistence but also contribute to meet energetic demand, using its control over photosynthesis and all the other biological and chemical processes that lead to organic synthesis or dissociation of the fuel elements that constitute the vegetal material, from algae to laticiferous plants. This article includes a brief exposé on the most promising renewable energetic systems.

