

Revista de la CEPAL

Director
RAUL PREBISCH

Secretario Técnico
ADOLFO GURRIERI

Secretario Adjunto
GREGORIO WEINBERG



NACIONES UNIDAS
COMISION ECONOMICA PARA AMERICA LATINA
SANTIAGO DE CHILE ABRIL 1984

SUMARIO

Balance preliminar de la economía latinoamericana durante 1983. <i>Secretario Ejecutivo de la CEPAL, Enrique V. Iglesias</i>	7
Conferencia Económica Latinoamericana	39
La crisis en Centroamérica: orígenes, alcances y consecuencias	53
Pasado, presente y futuro de la crisis económica internacional. <i>Oswaldo Sunkel</i>	81
La carga de la deuda y la crisis: ¿se deberá llegar a la solución unilateral? <i>Robert Devlin</i>	107
La energía en el modelo tecnológico agrícola predominante en América Latina. <i>Nicolo Gligo</i>	123
La exportación de productos básicos desde América latina. El caso de la fibra de algodón. <i>Alberto Orlandi</i>	139
La crisis global del capitalismo y su trasfondo teórico. <i>Raúl Prebisch</i> .	163
Publicaciones recientes de la CEPAL	183

La energía en el modelo tecnológico agrícola predominante en América Latina

Nicolo Gligo*

Este artículo examina algunas cuestiones importantes relacionadas con el uso de energía en la producción agropecuaria latinoamericana.

La agricultura de la región ha basado los aumentos de producción de los últimos decenios en la intensificación de las áreas ya sembradas más que en la ocupación de nuevas tierras y, en general, dicha intensificación se ha orientado por el tipo de desarrollo agrícola seguido en los Estados Unidos. Debido al elevado insumo energético requerido por este tipo de desarrollo, el mismo no podría generalizarse al resto de los países en forma amplia por lo que resulta imprescindible buscar otros criterios para orientar la expansión agropecuaria latinoamericana.

Habiendo planteado así el problema central, el autor examina las posibles opciones tecnológicas que podrían seguirse, para lo cual analiza de manera previa los insumos tecnológicos en términos energéticos, el rendimiento energético de la fuerza de trabajo y la oferta energética ambiental. Las opciones tecnológicas que puedan aplicarse dependen del grado de intervención que haya tenido en cada una de las zonas climáticas. Aquellas que han tenido una intervención más profunda presentan mayores dificultades para su transformación, aunque mucho podría hacerse para reorientar su utilización de energía; las que han tenido una intervención menor, como el trópico húmedo, permitirían que en su explotación se utilizaran desde el inicio criterios acordes con las necesidades y potencialidades de la región.

*Funcionario de la Unidad Conjunta CEPAL/PNUMA del Medio Ambiente.

I Introducción

El debate actual sobre el problema de la energía en el sector rural tiende a centrarse en el análisis de las posibilidades de producción energética a partir de las fuentes alternativas que ofrece este sector. Por un lado, han interesado las investigaciones sobre la bioenergía proveniente de los cultivos, la explotación forestal y la transformación de residuos. Por el otro, se han desarrollado iniciativas para aprovechar la energía producida por recursos renovables o inagotables como la energía eólica, solar, e hidráulica.¹

Sin desconocer la importancia de explorar estas posibilidades, hay un aspecto del problema energético, relacionado con la situación y las proyecciones del desarrollo agrícola de América Latina, que por su complejidad ha sido encarado en forma parcial y limitada, a saber, el uso de energía en la producción agropecuaria de los ecosistemas latinoamericanos. Si se supiera cómo

¹Existe una copiosa bibliografía sobre el tema; véanse entre otras: FAO, *Energía para la agricultura mundial* (por B.A. Stout), Roma, 1980, 303 pp.; Banco Mundial, *Alcohol production from biomass in the developing countries*, Washington, D.C., septiembre de 1980, 69 pp.; A. Makhijani y Alan Poole, *Energy and agriculture in the Third World*, Ballinger Publishing Co., Cambridge, Massachusetts, 1975, 168 pp.; Fernando Homem de Melo, *A agricultura nos anos 80. Perspectivas e conflitos entre objetivos de políticas*, Universidade de Sao Paulo, Facultad de Economía y Administración, IPEA, marzo de 1980, 61 pp.; P.H. Abelson, "Energy and chemicals from biomass", *Science*, vol. 213, N° 4508, agosto de 1981; D.E. Earl, *Forest, energy and economic development*, Clarendon Press, Oxford, 1975; EMBRAPA *Programa nacional de pesquisa en energia*, Brasil, 1980, 27 pp.; PNUMA, "New and renewable sources of energy. Information sources", *INFOTERRA*, Nairobi, Kenya, 1981, 320 pp.; Matthew S. Gamsler, "The forest resources and rural energy development", *World development*, Oxford, Reino Unido, vol. 8, N° 10, 1980, pp. 769-780; Naciones Unidas, Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre fuentes de energía nuevas y renovables (A/CONF. 100/11), Nueva York, 1981; PNUD/Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), "Plan de acción latinoamericano para el desarrollo de la energía no convencional", Seminario Latinoamericano sobre Políticas de Energía no Convencional, Rio de Janeiro, noviembre de 1979; PNUD, *El PNUD y la energía, exploración, conservación, innovación*, Estudio de evaluación N° 5, mayo de 1981; UNEP/PNUD/OLADE, *Energy alternatives in Latin America*, Quito, octubre de 1979; OLADE, *Programa latinoamericano de cooperación energética*, Serie Documentos OLADE N° 15, Quito, noviembre de 1981.

se están artificializando los ecosistemas,² cómo se maneja su oferta ambiental³ y sus atributos, y cuál es la especificidad del comportamiento energético, se podrían plantear en mejores condiciones las políticas tecnológicas para la ocupación de nuevos espacios y para el uso más intensivo de los recursos naturales renovables. Dos grandes desafíos que se presentan a la región son la incorporación de las grandes extensiones de bosques tropicales, muchos en estado virgen, tratando de modificar los nocivos sistemas empleados hasta ahora, de alto costo ecológico, y la inversión de la tendencia al deterioro de las zonas áridas y semiáridas, tratando de aprovechar sus características particulares.

Para hacer frente a estas tareas habría que alterar los factores socioeconómicos que condicionan el uso de los recursos, lo que presupone modificaciones de fondo en el estilo de desarrollo actual y la elaboración de estrategias distintas de desarrollo. En ellas habría que incorporar la dimensión energética para tender a un desarrollo autosostenido en que se utilice al máximo la oferta ambiental.

Los ecosistemas latinoamericanos que aún no han sufrido transformaciones estructurales y que mantienen la totalidad o gran parte de sus atributos originales poseen una capacidad relativa de utilización energética: estos ecosistemas en estado de clímax⁴ o próximo a él han acumulado energía en su masa vegetal o biomasa, lo que evidentemente constituye su principal atributo.

Por otro lado, las formas de artificializar los ecosistemas en América latina tienden a desaprovechar tanto la oferta energética del medio ambiente como los sistemas naturales de reciclaje de la energía acumulada; se crean así agrosistemas dependientes, que deben ser ayudados por inyección de energía, lo que suele denominarse subsidio energético⁵. La mayoría de estos agrosistemas se basan en tecnologías que los van deteriorando paulatinamente y creando una demanda creciente de energía para la producción agropecuaria.

Los dos aspectos conforman el problema fundamental de la agricultura latinoamericana: cómo artificializar los ecosistemas—en particular los tropicales y los áridos y semiáridos— que se incorporan a la explotación agropecuaria permanentemente de manera tal que ni se pierda la energía acumulada en ellos ni se degrade su capacidad de captación energética, pudiendo crearse concomitantemente un agrosistema perdurable, a mediano y largo plazo, en que no sea creciente la necesidad de insumos energéticos para mantenerlos y, en lo posible, se equilibren con un adecuado aprovechamiento de la oferta ambiental.

En consecuencia, la tesis sustentada aquí se basa en la necesidad de elaborar estrategias distintas de desarrollo agrícola, menos exigentes de energía, sobre todo en sus formas comerciales, y que la aprovechen en forma más eficiente.

II

La eficiencia energética del modelo tecnológico agrícola predominante

²Artificializar el ecosistema es modificar su estado natural mediante actividades orientadas a obtener determinados productos y aplicando medidas de manejo, mejoramiento genético, aportes de recursos como agua de riego, o insumos como fertilizantes y plaguicidas. Esta transformación, que suele traducirse en especialización, hace perder su estabilidad original al ecosistema.

³Oferta ambiental son los recursos de los ecosistemas (agua, suelo, clima) y la interacción entre ellos que puede aprovecharse en beneficio del hombre.

⁴Clímax: etapa en que el ecosistema ha alcanzado su máxima expresión física, logrando un equilibrio dinámico en que funcionan los mecanismos de autocontrol.

1. La energía comercial, no comercial, primaria y útil

La producción silvoagropecuaria consume sólo un pequeño porcentaje del total de la energía comercial; la FAO estimó el promedio mundial en 3.5%, correspondiéndole a América Latina un 3.8%⁶. No cabe duda de que el sistema total de aprovechamiento de la producción agrícola

⁵El subsidio energético apoya la artificialización, con la aplicación de fertilizantes, plaguicidas y maquinaria agrícola.

⁶FAO, *Energía para...* op. cit., pp. 51-52.

(transporte, agroindustria), consume un porcentaje mucho mayor de energía comercial, habiéndose calculado que la cadena que va desde el productor hasta el consumidor de alimentos absorbe en promedio el 20% de la energía comercial utilizada.

Hay escasos datos sobre América Latina, pero algunos estudios muestran que en elaboración, transporte y comercio y en el consumo doméstico, se usa un porcentaje mayor que en la producción misma. La producción absorbe entre 3% y 3.5%; la elaboración, el transporte y la comercialización de 5% a 7%; y el consumo doméstico 4.7%. En suma, la energía comercial utilizada en la cadena alimentaria fluctuaría entre 12.7% y 15.2%.⁷

Este análisis superficial podría llevar a recomendar políticas tecnológicas para la producción agrícola basadas en altos subsidios energéticos, ya que los sistemas de producción usan poca energía. Pero no es así: al adoptar agrosistemas que desaprovechan la oferta ambiental no sólo se disipan posibilidades de uso de energía, sino que lo corriente es que los nuevos agrosistemas tengan necesidades crecientes de energía. Además, se pierden irremisiblemente atributos del ecosistema que podrían permitir una agricultura más viable desde el punto de vista ecológico y económico.

El hecho de que la producción agrícola y, en general, el sector rural consuman un porcentaje bajo de energía comercial, no quiere decir que no usen energía. En general, en la naturaleza existe alta disponibilidad de energía primaria (luz solar, biomasa), aunque no necesariamente se traduzca en alta energía útil (para transporte y combustión, por ejemplo).⁸ En general, en las localidades agrícolas, este tipo de energía no es comercial. Revelle en 1978, citado por D.V. Smith,⁹ señala que la energía primaria consumida por sectores campesinos de Bolivia llega a 25 370

kcal/per cápita/día,¹⁰ cifra muy superior al promedio consumido por habitante de las ciudades latinoamericanas. El trabajo humano, la fuerza animal, la combustión vegetal y los residuos vegetales y animales, así como la fuerza hidráulica varían notablemente de un ecosistema a otro y también en función de la estructura de apropiación. Amplias extensiones de América latina ocupadas por campesinos presentan déficit notables de energía útil, sobre todo en zonas áridas y semiáridas, lo que no implica que haya una baja oferta ambiental de energía primaria. La situación es heterogénea y aunque existe cierto grado de correlación entre la energía primaria y la útil hay numerosas situaciones en que no se da esa correlación.

2. La eficiencia energética

En los últimos decenios en América Latina los aumentos de la producción agropecuaria se han basado en la intensificación de la agricultura de zonas ocupadas. Excluyendo el Brasil, en donde ha sido muy grande la expansión de la frontera agrícola, en el decenio de 1970 un 80% del crecimiento de la agricultura se logró gracias a la intensificación agrícola y un 20% a la ocupación de nuevas tierras.¹¹

Con algunas notables excepciones, la intensificación de la agricultura se ha logrado aplicando el modelo tecnológico de la "revolución verde", fruto de la intensa experimentación realizada en los Estados Unidos; pero, como dicen C. y J. Steinhart, éste es el sistema de producción alimentaria más ineficiente del mundo en cuanto al uso de energía.¹² La persistencia de esta tecnología en América latina, pese a la evolución que ha habido en el último decenio, se vincula estrechamente con el surgimiento de un estilo de desarrollo agrícola que ha llegado a predominar en la región. El estilo se ha implantado gracias al

¹⁰Se adoptó la kcal como medida en este estudio, definiéndola como 1 000 veces una caloría o cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de 1 gr de agua en 1 grado centígrado (de 15 a 16°C).

¹¹CEPAL, División Agrícola Conjunta CEPAL/FAO, "Veinticinco años en la agricultura de América Latina, rasgos principales, 1950-1975", *Cuadernos de la CEPAL*, Santiago, Chile, 1978.

¹²C. Steinhart y J. Steinhart, *Energy*, Duxbury Press, North Scituate, 1974.

⁷FAO, *ibid.*

⁸Energía primaria es la oferta global antes de ser utilizada y la útil es la que realmente entra en algún proceso de transformación, lo que depende de la eficiencia de su conversión.

⁹Douglas V. Smith: "Rural electrification or village energization?", *Interciencia*, vol. 5 N° 2, Caracas, marzo-abril de 1980, pp. 86-91.

manejo de la demanda de determinados productos, con estándares de calidad predeterminados, la estructuración de los sistemas de comercialización de insumos y productos, la demostración y la extensión agrícolas que enseñan esa tecnología como opción "única" para el incremento de la producción, y la asistencia técnica estatal o privada en manos de profesionales formados para la aplicación de estas tecnologías exógenas.

El modelo considera la modernización agrícola casi como sinónima de la tecnología empleada en los Estados Unidos. Pero como afirman G.W. Cox y M.D. Atkins, aun el análisis más sencillo indica cuan imposible sería alimentar a la población del mundo hasta alcanzar el nivel nutricional de los Estados Unidos con una tecnología semejante.¹³ Pimentel *et al* calcularon, por ejemplo, que el insumo energético requerido al aplicar el tipo de agricultura de los Estados Unidos para el total del sistema alimentario es de 1 250 litros de gasolina per cápita al año. Si se emplean esos insumos para alimentar a la población mundial a los niveles nutricionales de Estados Unidos y se utilizaran para la energía las reservas conocidas de petróleo (a comienzos del decenio de 1970) éstas se agotarían en 13 años. Un cálculo semejante para América latina arroja resultados igualmente desalentadores.

El problema se complica al analizar la evolución de la eficiencia energética en la producción de alimentos. Según la FAO, las proyecciones para 1985-1986 indican que el consumo de energía en la agricultura aumentaría un 177% en los países en desarrollo, con relación al consumo de 1973.¹⁴ Los distintos estudios para estimar la tendencia en la eficiencia energética centran su atención en la producción alimentaria y no en la agrícola global. No obstante, esos datos son representativos de la situación general.

En 1950 se necesitaba en Estados Unidos menos de 1 kcal comercial¹⁵ para producir 1 kcal biológica alimentaria (conversión de la energía contenida en los alimentos). En 1970 se necesitaban 2.06 kcal comerciales por 1 kcal de alimentos (véase el cuadro 1). Ahora bien, si se incorporan a

esos cálculos los cultivos no alimenticios, las "relaciones" no sufren modificaciones de importancia, pero es posible que se incrementen levemente por el alto nivel de artificialización de cultivos como el algodón.

Cuadro 1
ESTADOS UNIDOS: BALANCE ENERGETICO
DE LA AGRICULTURA, 1970
(10¹² kcal)

<i>Insumos energéticos comerciales</i>	
Riego	133
Fertilizantes	150
Plaguicidas (no incorporados al riego)	12
Combustibles	326
Maquinaria	101
Electricidad	107
<i>Total</i>	<i>829</i>
<i>Productos en energía alimentaria</i>	
Consumo (200 × 10 ⁶ personas a 1 095 × 10 ⁶ kcal/persona/año)	219
Residuos de la producción alimentaria (20% más)	24
Exportación (40 × 10 ⁶ ton a 4 × 10 ⁶ kcal/ton)	106
<i>Total</i>	<i>403</i>
<i>Relación energía insumos comerciales/energía productos alimentarios</i>	<i>2,06</i>

Fuente G.W. Cox y M.D. Atkins, *Agricultural ecology*, op. cit., p. 620.

En países con rendimientos agrícolas no tan elevados como Estados Unidos, los requerimientos energéticos para producir una unidad de energía calórica son menores, aunque tienden a subir en forma sostenida. El caso de Italia ofrece un buen ejemplo de esta evolución: en 1955 era necesaria 0.46 kcal comercial para obtener 1 biológica; en 1965 esta relación había subido a 0.61 y recientemente en 1977 alcanzaba a 1.01.¹⁶

Desde el punto de vista físico-agronómico, el problema se complica, pues no sólo se elevan los requerimientos energéticos por el mayor uso de tecnologías de uso intensivo de energía, sino que el rendimiento acusa incrementos decrecientes (Ley de Mitcherlich), con lo cual a mayores niveles de productividad de la tierra hay un menor incremento marginal. Por esta causa la eficiencia energética es progresivamente menor en las áreas altamente artificializadas aplicando las mismas tecnologías.

¹³G.W. Cox y M.D. Atkins, *Agricultural ecology*, Freeman, Ed., San Francisco, 1970, p. 626.

¹⁴FAO, *Energía para...*, op. cit., p. 55.

¹⁵Energía proveniente de fuentes comerciales: petróleo, carbón, hidroelectricidad, centrales nucleares.

¹⁶Roberto Volpi, "Al servizio dello sviluppo agricola (Problemi attuali e prospettive dell'energia nel mondo)", *Politica Internazionale*, N° 1, enero de 1981, pp. 41-48.

Si a este problema de los rendimientos decrecientes se suma el económico derivado del alza de los precios del petróleo, la situación se vuelve aún más negativa. Según Volpi¹⁷, volviendo al caso de Italia, la relación de petróleo equivalente para aumentar 1 000 libras (1963) de producción agrícola bruta a precios de produc-

tor era en 1965 de 1.21 con respecto a 1955. Esta relación en 1977 con respecto a 1965 había subido a 5.01.

Aunque en la coyuntura actual los precios del petróleo no han tenido el incremento previsto, si la tendencia es alcista a largo plazo habrá un crecimiento progresivo de la relación.

III

Los insumos energéticos en los agrosistemas

1. Los insumos tecnológicos en términos energéticos

Para explorar las posibles alternativas a las tecnologías del tipo de revolución verde es preciso analizar la diferente importancia relativa de los insumos energéticos utilizados y comparar las relaciones entre éstos y los productos medidos en términos de energía.

En general la explotación extensiva tradicional muestra una baja relación entre el insumo de energía comercial y el producto. (Véase el cuadro 2.) Los insumos energéticos, pese a que los agrosistemas no son mecanizados, varían notablemente según el trabajo animal agregado y el tipo de producto final. En los sistemas pastoriles y semipastoriles hay un aporte energético muy bajo y el producto final (producción animal) es ínfimo debido a las pérdidas por conversión en este tipo de explotación. En general cuando el producto de las explotaciones es de origen animal, la eficiencia es baja ya que los animales consumen mucha energía para mantenerse y movilizarse. Destaca el alto producto energético del cultivo de yuca de Zaire y su elevada eficiencia energética. La eficiencia energética relativamente baja de los cultivos de trigo en India y sorgo en Nigeria se explica por el gran uso de fuerza animal, con su consiguiente bajo rendimiento energético.

Un estudio que compara los años 1945 y 1970 muestra cual fue la evolución en el uso de insumos en Estados Unidos en el maíz. (Véase el cuadro 3.) El uso de energía aumentó en 213%.

Los fertilizantes (nitrógeno, fósforo y potasio), que en 1945 sumaban un 8.06%, representaban en 1970 un 36.45%, en lo que influía notablemente el nitrógeno, cuya participación creció en 1 500% aportando, por sí solo, casi un tercio de toda la energía invertida. Aunque decreció la importancia relativa de la maquinaria y la gasolina (de 78.17% a 42.01%), en términos absolutos aumentaron en 133% y 47%, respectivamente. Por último, cabe destacar que el único insumo que disminuyó fue la fuerza de trabajo (61%).

Este estudio sobre el maíz muestra la tendencia de la agricultura norteamericana. El análisis de otros cultivos podría demostrar que en algunos se agudizó esta tendencia. Un estudio realizado en 1971 en Estados Unidos compara trigo, arroz y papa (véase el cuadro 4), notándose importantes diferencias en la cantidad de insumos energéticos. En el arroz un 44.88% corresponde a riego. En los otros dos cultivos que no usan riego, la importancia de la maquinaria y el combustible es muy alta: 49.56% para el trigo y 34.31% para la papa. La suma de los fertilizantes (NPK) también es muy significativa: 28.71% para el trigo y 45.79% para la papa. La mayor productividad es del arroz con 21 039 480 kcal, pero destaca el alto rendimiento de la papa que no usa riego (19 712 000 kcal).

Estos estudios comprueban el bajo rendimiento energético de los sistemas con alto subsidio de energía.

Aunque los métodos utilizados en varios de los cálculos del cuadro 5 son muy diferentes, en la comparación se aprecia una relación entre el alto consumo energético y la ineficiencia en el uso de energía, como se advierte en los frutales y

¹⁷Roberto Volpi, "Al servizio dello sviluppo...", *op. cit.*, cuadro 7.

Cuadro 2
INSUMOS ENERGETICOS Y ENERGIA ALIMENTICIA DE VARIOS AGROSISTEMAS
NO MECANIZADOS
(kcal/hal año)¹

Sistema	Alimentos	Insumos energéticos				Producto energético	Relación insumo energético / Producto energético
		Humano	Animal	Industrial	Total		
<i>Pastoril</i>							
Africa ^a	Leche, carne	5 100	—	—	5 100	49 500	0.104
<i>Semipastoril</i>							
Uganda ^b	Leche, carne, granos	69 000	—	—	69 000	197 000	0.350
<i>Cultivos rotativos</i>							
Guinea ^c	Granos mixtos	1 390 000	—	—	1 390 000	22 780 000	0.061
Tailandia ^d	Arroz	340 000	—	6 000	346 000	6 220 000	0.056
México ^e	Maíz	659 200	—	16 500	675 700	6 843 000	0.099
Sudán ^e	Sorgo	193 300	—	16 500	209 800	2 970 000	0.071
Zaire ^e	Yuca	556 200	—	16 500	572 700	21 450 000	0.027
<i>Riego por inundación</i>							
Tailandia ^d	Arroz	124 000	10 000	18 000	152 000	5 730 000	0.027
<i>Riego tipo arrozal</i>							
Tailandia ^d	Arroz	348 000	19 000	47 000	414 000	9 400 000	0.044
<i>Hacienda permanente</i>							
México ^e	Maíz	208 400	693 000	41 400	979 400	3 312 300	0.294
India ^e	Trigo	334 700	2 247 000	41 400	2 837 600	2 709 300	1.047
Filipinas ^e	Arroz	313 500	952 000	161 900	1 831 300	6 004 000	0.305
Nigeria ^e	Sorgo	63 100	2 555 000	41 400	2 722 200	2 471 700	1.101

Fuente: G.W. Cox y M.D. Atkins, *Agricultural Ecology*, op. cit., p. 601.

^a Brown, 1971.

^b Odum, 1967.

^c Rappaport, 1971.

^d Hanks, 1972.

^e Pimentel, 1974.

¹ Los datos se miden por insumo y producto de energía por hectárea durante un año.

Cuadro 3
INSUMOS Y PRODUCTO ENERGETICOS PARA MAIZ EN
ESTADOS UNIDOS, 1945 Y 1970
(*kcal/halaño*)

Insumos	1945	Porcen- taje	1970	Porcen- taje	Porcentaje cada insumo respecto 1945
Trabajo	5 062.5	1.35	1 984,5	0.17	-61
Maquinaria	72 900.0	19.45	170 100.0	14.50	133
Gasolina	220 077.0	58.72	322 785.0	27.51	47
Nitrógeno	23 814.0	6.35	381 024.0	32.47	1 500
Fósforo	4 298.0	1.15	19 075.5	1.63	344
Potasio	2 106.0	0.56	27 540.0	2.35	1 208
Semillas	13 770.0	3.67	25 515.0	2.18	85
Riego	7 695.0	2.05	13 770.0	1.17	79
Insecticidas	—	—	4 455.0	0.38	—
Herbicidas	—	—	4 455.0	0.38	—
Secado	4 050.0	1.08	48 600.0	4.14	1 100
Electricidad	12 960.0	3.46	125 550.0	10.70	869
Transp. int.	8 100.0	2.16	28 350.0	2.42	250
<i>Total</i>	<i>374 827.5</i>	<i>100.00</i>	<i>1 173 204.0</i>	<i>100.00</i>	<i>213</i>
Producto energ. Maíz	1 388 016.0		3 306 744.0		

Fuente: Elaborado a base de Pimentel *et al.*, *American Association for the Advancement of Science*, 1973.

Cuadro 4
ESTADOS UNIDOS: INSUMOS Y PRODUCTO ENERGETICOS PARA TRIGO,
ARROZ Y PAPAS ALREDEDOR DE 1971
(*kcal/halaño*)

	Trigo		Arroz		Papa	
	Cantidades	Porcen- taje	Cantidades	Porcen- taje	Cantidades	Porcen- taje
Trabajo	6 531	0.14	16 328	0.11	32 655	0.38
Maquinaria	1 037 400	21.63	1 037 400	7.11	1 000 000	11.54
Combustible	1 339 800	27.93	2 153 250	14.76	1 971 420	22.77
Nitrógeno	1 284 800	26.78	2 358 400	16.17	2 601 280	30.03
Fósforo	54 230	1.13	—	—	818 235	9.45
Potasio	37 400	0.80	147 400	1.01	546 920	6.31
Semillas	552 750	11.52	813 120	5.57	269 500	3.11
Riego	—	—	6 545 880	44.88	—	—
Insecticidas	26 620	0.55	135 520	0.93	135 520	1.56
Herbicidas	—	—	135 520	0.93	135 520	1.56
Fungicidas	—	—	—	—	135 520	1.56
Electricidad	370 500	7.72	—	—	765 700	8.84
Secado	—	—	1 070 597	7.34	—	—
Transporte	86 450	1.80	172 900	1.18	250 000	2.89
<i>Total</i>	<i>4 796 481</i>	<i>100.00</i>	<i>14 586 315</i>	<i>100.00</i>	<i>8 662 270</i>	<i>100.00</i>
Producto energ.	8 428 200		21 039 480		19 712 000	

Fuente: Elaborado a base de cuadros de Pimentel *et al.*, *American Association for the Advancement of Science*, 1974; G.W. Cox y M. D. Atkins, *Agricultural Ecology*, *op. cit.* p. 608.

Cuadro 5
INSUMO TOTAL, PRODUCTOS ENERGETICOS Y EFICIENCIA
ENERGETICA DE AGROSISTEMAS
(kcal/halaoño)

Agrosistema	Insumo energético total	Producto energético	Insumo producto
Pastoril, África ^a	5 150	49 500	0.104
Limpia y barbecho rotativo, México ^b	675 700	6 843 000	0.099
Hacienda permanente, México ^b	979 400	3 331 230	0.294
Hacienda permanente, India ^b	2 837 760	2 709 300	1.047
Maíz, EE.UU. ^c	1 173 204	3 306 744	0.355
Trigo, EE.UU. ^b	4 796 481	8 428 200	0.569
Arroz, riego, EE.UU. ^b	14 586 315	21 039 480	0.693
Manzana, EE.UU. ^d	18 000 000	9 600 000	1.875
Espinaca, EE.UU. ^d	12 800 000	2 900 000	4.414
Tomate, EE.UU. ^d	16 000 000	9 900 000	1.616

Fuente: Elaboración propia a base de datos de Pimentel, Brown y Pimentel y Pimentel.

^a Brown, 1971.

^b Pimentel, 1974.

^c Pimentel, 1973.

^d Pimentel y Pimentel, 1979.

las hortalizas. Esta correlación no es muy alta, ya que hay explotaciones no mecanizadas que tienen coeficientes muy ineficientes, lo que se explica por el uso de energía animal cuyo costo energético es bastante alto. Aunque también aparece una alta correlación entre alto subsidio y alto rendimiento, no siempre es así, ya que mediante rotaciones y barbechos pueden obtenerse altos rendimientos con subsidios relativamente bajos, lo que da una alta eficiencia energética. Lo que no cabe duda es que cuando se usa el conjunto tecnológico ligado a la mecanización, éste proviene casi en su totalidad de la energía comercial. Cuando se usa energía animal sólo una cuota proviene de energía comercial. Es muy alto el costo energético del mantenimiento de los animales, pero en términos de energía comercial suele ser bajo. Por último, cabe destacar que los métodos para calcular el valor energético (en kcal) de los sistemas pastoriles y de agricultura no permanente no dan detalles sobre la "cosecha" del ecosistema o, en otras palabras, lo que se aprovecha de la energía acumulada en el ecosistema en el tiempo de formación y que correspon-

de a una extracción por sobre la capacidad de recuperación.

Con relación a los alimentos animales, interesa en especial analizar la eficiencia energética de la producción proteica, la que evidentemente es muy baja porque la transformación energética de vegetal a animal representa un paso más en la trama trófica¹⁸ y se necesitan insumos energéticos para mantener la masa ganadera de reproducción.

El cuadro 6 muestra las diferentes relaciones entre el insumo de energía fósil (petróleo y carbón) y el producto proteico. La relación más ineficiente es la de la producción de vacunos en forma intensiva ya que 1 kcal proteica necesita un subsidio energético de 77.7 kcal. La relación menos ineficiente es la de la producción de huevos (13.1:1).

¹⁸Tramas tróficas son las producidas por las interrelaciones predadores/presas. En cada tramo hay una alta pérdida energética.

Cuadro 6
 PRODUCTO PROTEICO E INSUMO FOSIL ENERGETICO, POR
 HECTAREA/AÑO EN ESTADOS UNIDOS
 (kcal/halaño)

Producto animal	Producto proteico	Insumo energético fósil	Insumo fósil producto proteico
Leche	238 468	8 561 000	35.9
Huevo	729 771	9 560 000	13.1
Ave (Broiler)	463 032	10 233 000	22.1
Puerco	260 226	9 212 000	35.4
Vacuno (intensivo)	203 925	15 845 000	77.7
Cordero (extensivo)	679	11 000	16.2

Fuente: Elaboración propia a base de datos de Pimentel *et al.*, *American Association for the Advancement of Science*, 1975.

2. El rendimiento energético de la fuerza de trabajo

El cuestionamiento de las tecnologías de la revolución verde tiene como contestación los argumentos relativos a los altos rendimientos de la fuerza de trabajo. (Véase el cuadro 7.) Este tipo de agricultura registra un elevado rendimiento energético por hombre ocupado; por ejemplo, en el cultivo de trigo en los Estados Unidos, un mes-hombre produce 1 204 029 kcal y en el maíz, 275 562 kcal, mientras que en México el rendimiento es de sólo 4 800 kcal. Pero hay un notable insumo de energía comercial: mientras que en Estados Unidos hay que subvencionar al

maíz con 97 767 kcal por mes-hombre, en México el subsidio es insignificante (242 kcal). Si se resta a la energía comercial producida la energía comercial consumida, y se calcula el rendimiento por mes-hombre, éste es mayor en los cultivos altamente artificializados. Por ejemplo, con relación al maíz, el rendimiento neto comercial es de 177 795 kcal por mes-hombre, mientras que en México es de sólo 4 558. Pero estas conclusiones deben aceptarse con ciertas reservas, ya que en muchos cultivos el balance es negativo. Así, la relación entre el balance energético comercial de una fruta (la manzana) por mes-hombre es de -48 000 kcal y de un cultivo hortícola (la espinaca) es de -176 786 kcal.

Cuadro 7
RELACIONES DE LA FUERZA DE TRABAJO CON LA ENERGIA COMERCIAL,
EL PRODUCTO ENERGETICO Y EL BALANCE ENERGETICO NETO
(Por/ha/año)

País	Producto	Insumo	Producto	Balace	Fuerza de	Insumo	Producto	Balace
		energético	comercial	energético	trabajo	energético	comercial	energético
		comercial	bruto	neto	horas	comercial/	bruto/	comercial/
		(kcal)	(kcal)	(kcal)	hombre/	fuerza de	fuerza de	fuerza de
		(1)	(2)	(3) = (2) - (1)	año	trabajo	trabajo	trabajo
					(4)	(1) : (4)	(2) : (4)	(3) : (4)
África	Pastoril	—	49 500	49 500	17	—	2 912	2 912
México	Cultivo maíz de limpia y barbechos rotativos	66 825	6 843 000	6 675 330	2 297	29	2 979	2 906
México	Maíz (hacienda permanente)	167 670	3 331 230	3 163 560	694	242	4 800	4 558
India	Trigo (hacienda permanente)	167 670	2 709 300	2 541 630	1 115	150	2 430	2 279
Estados Unidos	Maíz mecanizado	1 173 204	3 306 744	2 133 540	12	97 767	275 562	177 795
Estados Unidos	Trigo mecanizado	4 796 481	8 428 200	3 631 719	7	685 212	1 204 029	518 817
Estados Unidos	Arroz mecanizado	14 586 315	21 039 480	6 453 165	17	858 019	1 237 616	379 598
Estados Unidos	Manzana	18 000 000	9 600 000	-8 400 000	175	102 857	54 857	-48 000
Estados Unidos	Espinaca	12 800 000	2 900 000	-9 900 000	56	228 371	51 786	-176 786
Estados Unidos	Tomate	16 000 000	9 900 000	-6 100 000	165	96 970	60 000	-36 970

Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos de Pimentel *et al.* (1973) (1974) Pimentel y Pimentel (1979) y Brown (1971).

IV

Las opciones latinoamericanas

1. *La oferta energética ambiental*

El estilo de desarrollo predominante en América latina no sólo deteriora el medio ambiente, sino que, por la tendencia a reproducir tecnologías exógenas, desaprovecha la enorme oferta ambiental de los ecosistemas de la región¹⁹. Antes de analizar la especificidad de los ecosistemas latinoamericanos, es necesario hacer algunas consideraciones en torno a la eficiencia energética de los vegetales, base del aprovechamiento de la energía solar a través de la fotosíntesis. De la energía solar que llega a las plantas sólo una pequeña parte, menos del 5%, se convierte en biomasa. Los herbívoros que utilizan fuentes energéticas más concentradas usan un 90% de los vegetales consumidos para mantenerse.²⁰ A medida que la energía se moviliza dentro de las tramas tróficas de las comunidades ecológicas, se produce una pérdida importante en forma de respiración. Pero en los ecosistemas naturales, los organismos, a diferencia de las máquinas, se mantienen a sí mismos, cubren la necesidad de almacenamiento, se reproducen y tienden a la diversidad para la supervivencia futura²¹. Por esta razón, en los ecosistemas naturales "maduros" los aportes solares de energía tienden al mantenimiento y es nula, en consecuencia, su producción energética neta²². La agricultura, en su proceso de artificialización, trata de transformar estos ecosistemas en agrosistemas más sim-

plificados para poder extraer biomasa (medible en términos energéticos). Si no se quiere deteriorar los numerosos ecosistemas que aún no han sufrido cambios estructurales o se trata de simplificarlos aprovechando determinados atributos, deben manejarse como sistemas en que al mismo tiempo que los niveles energéticos pasan del "mantenimiento" a ciertos niveles de "producción neta", se preservan otros atributos como estabilidad y elasticidad.

Con relación a la oferta ambiental energética es evidente que no puede hacerse un análisis parcial de este solo recurso, sino que debe analizarse como parte integral del ecosistema. No obstante, hay que destacar que América Latina presenta alta radiación solar por el elevado porcentaje de la región situado entre las líneas de los trópicos y por los singulares pisos altitudinales. Casi las tres cuartas partes del territorio tienen una radiación de 16 kcal/cm² en el mejor mes y de 12 a 16 kcal/cm² en el peor mes²³. Además en el trópico existe una relación cercana al óptimo de temperatura/humedad en función de la producción de biomasa.

El hecho de que casi todo el territorio de América Latina registre una relación homogénea entre las horas de luz y las de oscuridad, le da a la región cierta homogeneidad entre las funciones productoras y consumidoras, lo que se traduce en grandes superficies foliares para acumular materia seca por encima de la superficie del suelo. Por ello se desarrollan plantas con hojas abundantes y raíces relativamente escasas.

Es muy adecuada la relación energía lumínica/temperatura en extensos sectores de la región, y se tiende a aprovechar al máximo el proceso fotosintético.

La adecuada energía ambiental se combina en el trópico húmedo con una gran oferta hídrica para dar una alta productividad en términos de biomasa. Margaleff, para una biomasa de selvas tropicales que fluctúa entre 3 200 y 40 000 gr/

¹⁹Véase Nicolo Gligo, "Estilos de desarrollo, modernización y medio ambiente en la agricultura latinoamericana", *Estudios e informes de la CEPAL*, N° 4, junio de 1981 y Jaime Hurtubia, "Ecología y desarrollo: evolución y perspectivas del pensamiento ecológico", en *Estilos de desarrollo y medio ambiente en la América Latina*, Fondo de Cultura Económica, Serie Lecturas N° 36, México, 1981, pp. 158-204; y "La evolución del pensamiento ecológico", E/CEPAL/PROY.2/R.45, octubre de 1979; E.P. Odum, *Ecología*, Nueva Editorial Interamericana, 1972.

²⁰Joshua Dickinson, "Perspectivas ecológicas sobre el desarrollo", *Interciencia*, vol. 6, N° 1, Caracas, enero-febrero de 1981, pp. 30-38.

²¹Jaime Hurtubia, "La evolución del...", *op. cit.*, p. 42.

²²Por producción energética neta se entiende la que está por sobre el equilibrio y que permite acumular energía.

²³PNUD/OLADE, "Requerimientos futuros de fuentes no convencionales de energía en América latina", Quito, junio de 1979, p. 80.

carbono/m², estima una producción neta entre 1 000 y 1 500 gr/carbono/m²/año²⁴. FAO da para esos ecosistemas un rendimiento fotosintético que varía entre 3 y 10 gr/m²/día de materia seca orgánica bruta²⁵. No cabe duda que en términos absolutos, la producción neta de estos ecosistemas supera a cualquier otro, pero en términos de eficiencia energética, ecosistemas con menor biomasa gastan menos en respiración, lo que da una mayor eficiencia en la conversión a energía neta de la energía solar. Este hecho debe considerarse cuando se exploran las posibilidades de mejoramiento de áreas de baja biomasa por unidad de superficie. Ese es el caso de las localidades alejadas de los trópicos, donde hay en promedio baja radiación solar, pero en la época de crecimiento, sobre todo en los largos días de verano, hay una mayor eficiencia de conversión de energía solar en producción bruta y, además, por tener menos organismos de respiración, también hay una mayor eficiencia de producción neta en relación con la producción bruta.

En las zonas áridas o semiáridas sucede algo similar a lo que ocurre en el trópico húmedo: la alta temperatura condiciona a las plantas a gastar más energía de producción bruta en la respiración²⁶. Aquí la gran limitante es el agua y la gran oferta es la radiación solar.

2. La energía en las políticas tecnológicas para el desarrollo agropecuario de América Latina²⁷

a) El grado de artificialización de los ecosistemas

La región presenta todo el abanico de grados de intervención de los ecosistemas, desde zonas vírgenes hasta monocultivos altamente artificializados que emplean insumos energéticos en cantidades iguales y en ocasiones mayores que en los países desarrollados.

²⁴Ramón Margaleff, *Ecología*, Ediciones Omega, Barcelona, 1974, pp. 465-951.

²⁵FAO, *Energía para...*, *op. cit.*, p. 105.

²⁶Eugene P. Odum, *Fundamentals of ecology*, W.B. Saunders Company, Filadelfia, 1971, p. 45.

²⁷CEPAL, Unidad de Desarrollo y Medio Ambiente (con la colaboración de Sergio Alvarado), "Estilos de desarrollo, energía y medio ambiente: Un estudio de caso exploratorio", en *Estudios e informes de la CEPAL* N° 26, E/CEPAL/G. 1254, julio 1983. En este documento se exploran las perspectivas de la crisis del petróleo y la imperiosa necesidad de modificar la demanda.

Los ecosistemas vírgenes o los que tienen bajo grado de artificialización y no han sufrido transformaciones estructurales de importancia, están en condiciones de recibir un tratamiento alternativo aplicándoles una política tecnológica basada en el conocimiento acabado del funcionamiento y los atributos de los ecosistemas y que tienda a aprovechar la oferta ambiental.

Las zonas de mayor artificialización y que han sufrido transformaciones estructurales importantes han perdido una parte significativa de sus atributos. La gran mayoría de estas transformaciones son irreversibles, aunque existen algunos estados diferentes al natural que desarrollan algunos de estos atributos, siendo que el funcionamiento del ecosistema es muy diverso al primitivo. En general, las áreas tradicionales de agricultura que se han incorporado desde hace varios lustros o decenios, se han convertido en agrosistemas que para producir deben recibir un subsidio de energía. En el aumento de su productividad, los aportes energéticos acusan rendimientos decrecientes, es decir cuanto más alta sea la productividad, más difícil será incrementarla.

No obstante, existen formas diferenciadas de subsidio para estos ecosistemas en función del uso de los fertilizantes orgánicos. Ya Lockeretz *et al.* efectuaron un estudio comparado profundo entre haciendas que usaban sistemas de producción de uso intensivo de energía basados en la aplicación de fertilizantes inorgánicos frente a las que utilizaban los orgánicos.²⁸ Llegaron a la conclusión de que no había diferencias en la utilidad neta de las haciendas; que la producción total en las explotaciones orgánicas era sólo entre un 55 y 77% del nivel que alcanzaban las que aplicaban fertilizantes inorgánicos; y que los costos eran mucho menores en la energía invertida en las haciendas "orgánicas" (aproximadamente sólo un 30% de las "inorgánicas").

Dadas estas circunstancias, habría que preguntarse por qué se sigue insistiendo en políticas que fomentan casi exclusivamente la fertilización inorgánica. La respuesta hay que buscarla en las condicionantes del estilo: especialización en la

²⁸W. Lockeretz; R. Klepper; B. Commoner; M. Gertler; S. Fast; D.O. Leary y R. Blobaum, *A comparison of the production, economic returns, and energy intensiveness of corn belt farms that do and do not use inorganic fertilizers and pesticides*, Washington University Center for the Biology and Natural Systems, St. Louis, 1975.

oferta de determinados insumos, papel de las transnacionales en la comercialización de insumos tecnológicos, experimentación agropecuaria "inducida" por modelos tecnológicos no neutros, y tendencia tecnocrática a maximizar la productividad de la tierra.

Por otra parte, dentro de los esquemas adoptados para aumentar la producción a través del conjunto tecnológico clásico, también pueden introducirse radicales modificaciones para reducir el uso de la energía comercial. Al respecto, Johnson *et al.*, citados por G.W. Cox y M.D. Atkins, estudiaron la posibilidad de mantener un alto nivel de producción por unidad de superficie con tecnologías de uso menos intensivo de la energía. El estudio estaba encaminado a demostrar que con el mismo modelo tecnológico podía ahorrarse energía, fundamentalmente en mecanización. Se pudo demostrar que las relaciones de 1.81:1 (insumos: producto) podían bajarse a 0.99:1 y la producción se reducía en sólo 4%. Este ahorro podía lograrse sólo hasta cierto punto, pues cuando se bajaba a 0.67:1 la producción era inferior en 47%.²⁹

b) *El desafío del trópico húmedo*

El gran espacio latinoamericano que sólo ha sido parcialmente ocupado ofrece opciones diferentes según el papel que se le asigne en el futuro mediano e inmediato. Los reiterados fracasos en la ocupación de estos espacios aconsejan introducir modificaciones de fondo en las estrategias de desarrollo de esas superficies. En este contexto tiene especial interés el análisis desde el punto de vista energético de la expansión de la frontera agropecuaria.

El primer gran tema de discusión es el problema de la energía acumulada como biomasa.³⁰ Esta se ha acumulado durante siglos hasta llegar al clímax cuando tiende a mantenerse dinámicamente estacionaria. Se propende a eliminar esta biomasa para aprovechar su madera, ya sea en la industria o como combustible, y se quema con el objeto de realizar una rápida y barata habilita-

ción de los suelos para la agricultura. De una forma u otra el ecosistema se degrada energéticamente pues se elimina parte importante de la superficie foliar y por ende su capacidad fotosintética. El primer gran desafío, en consecuencia, es mantener un grado de capacidad de transformación y acumulación energética de los ecosistemas.

Desde el punto de vista de la producción forestal, el bosque maduro tiene un crecimiento anual bajísimo, ya que las funciones fotosintéticas se equilibran con las respiratorias. Pero en la actualidad hay en América Latina existencias de bosques explotables y en formación: se puede estimar un potencial de crecimiento anual que equivale a la capacidad de acumulación energética. J.I. Leyton³¹ plantea para esta región sobre 506 millones de hectáreas de bosques húmedos tropicales que tienen una existencia total de 50 600 a 75 900 millones de metros cúbicos (100 a 150 m³/ha) y un volumen explotable en formación de 30 400 millones de metros cúbicos (60 m³/ha) con un potencial total de crecimiento anual de 508 a 1 016 millones de metros cúbicos (1-3 m³/ha/año).

El otro gran problema de estos ecosistemas es utilizar la tecnología para transformarlos de modo que se pueda aprovechar la oferta ambiental evitando el deterioro. Este planteamiento lleva a establecer los siguientes principios generales:

- i) Es fundamental mantener la anatomía o arquitectura de los ecosistemas del trópico húmedo. Su alteración se traduce en una pérdida marcada de la energía acumulada y los convierte en agrosistemas inestables que requieren subsidios energéticos.
- ii) En la artificialización debe evitarse la pérdida de la inercia o estabilidad para hacer posible el mantenimiento de la capacidad de acumulación energética.
- iii) La artificialización moderada permite un proceso de cicatrización en función de la elasticidad del ecosistema.³²

²⁹G.W. Cox y M.D. Atkins, *Agricultural ecology*, *op. cit.*, p. 625.

³⁰El PNUMA define la biomasa como el volumen total de materia viva presente en todo momento en una población o zona determinada. Véase *El estado del medio ambiente: temas seleccionados*, 1983 (UNEP/GC.11/4), 21 de febrero de 1983.

³¹José I. Leyton, "Manejo y utilización del bosque húmedo tropical", FAO, Consulta técnica sobre los bosques latinoamericanos, México, 11 a 15 de febrero de 1980.

³²Proceso de cicatrización es la capacidad del ecosistema de recuperarse cerrando las heridas que se le han ocasionado.

iv) Si hay un proceso de especialización con eliminación de especies, deben reemplazarse por especie exógenas que cumplan funciones equivalentes.

A base de estos principios, los criterios energéticos deberían orientar las políticas tecnológicas de la manera siguiente:

- i) Establecer recomendaciones de eficiencia energética, configurando sistemas de ocupación con bajo uso de subsidios.
- ii) Orientar las prácticas silvoagropecuarias hacia técnicas de manejo en que se mantengan la estructura y los atributos básicos del ecosistema en la explotaciones; ello implica no reemplazar ni eliminar la cubierta boscosa, salvo cuando sea sostenible a largo plazo la explotación agronómica.
- iii) Adoptar innovaciones técnicas genéticas que tiendan a una mayor eficiencia fotosintética. Las amplias perspectivas de la ingeniería genética en este campo podrían hacer posible espectaculares avances tecnológicos. Los bancos genéticos del trópico húmedo deben suministrar la base para este mejoramiento.
- iv) Minimizar las técnicas químicas y la mecanización en las prácticas de labranza. Estas medidas repercutirán en la eficiencia genética.
- v) Mejorar o introducir elementos para lograr mayor fijación biológica del nitrógeno.

Las orientaciones citadas podrán hacerse efectivas en la medida en que se logre la compatibilidad entre la productividad de la tierra a corto plazo y la conservación de los recursos naturales a mediano y largo plazo. Para ello habrá que idear estrategias que consideren todas las políticas relativas a la ocupación de los trópicos húmedos, y no sólo las que dicen relación con la producción agropecuaria.

c) *El desafío de las zonas áridas y semiáridas*

Desde el punto de vista energético, para establecer políticas tecnológicas en las zonas áridas y semiáridas, interesa destacar los principios siguientes:

- i) Los ecosistemas de zonas áridas y semiáridas suelen ser poco estables ante la alteración producida por el hombre, por lo que se degradan rápidamente.

ii) En general y a pesar de la alta oferta ambiental energética, las limitaciones hídricas impiden o reducen la función fotosintética, lo que se traduce en baja biomasa por unidad de superficie.

iii) Los cambios estructurales del ecosistema pueden realizarse con menos complicaciones que en el trópico húmedo.

En América latina estas zonas han estado sometidas a diversas alteraciones. Por un lado, ha habido transformaciones importantes en las superficies regadas, donde se ha producido una transformación estructural total ya que, al superarse la limitante hídrica, se ha registrado un alto aprovechamiento de la oferta ambiental energética. En realidad las obras hidráulicas constituyen una de las mayores oportunidades del ser humano para lograr una gestión ambiental total.³³ Aún queda mucho por hacer en materia de riego con miras a la conservación de la energía. En la agricultura de riego la necesidad de ahorrar agua se ha traducido en la introducción de sistemas de aspersión o de goteo que emplean energía, por lo que las nuevas técnicas deben orientarse al ahorro en estos sistemas. Por otra parte, las nuevas técnicas de recolección y utilización de enmiendas de suelos para mejorar la capacidad de retención del agua pueden contribuir a un ahorro energético significativo.³⁴

Pero el problema tecnológico de la producción y el uso de energía de las zonas áridas y semiáridas no está en las partes regadas, sino en el secano. En las zonas con potencial de riego el problema es normalmente económico-financiero, pero una vez que se dispone del agua y se cuenta con sistemas de distribución, existen variadas y conocidas tecnologías para la puesta en producción.

En las zonas de secano de América latina la situación es muy difícil pues la mayoría ha estado sometida a una explotación abusiva. La baja disponibilidad de biomasa por unidad de superficie, unida a la vulnerabilidad de estos ecosistemas, ha provocado en general procesos degradatorios que corrientemente han desembocado en procesos de desertificación. "En algunos casos la

³³Axel Dourojeanni y Terence Lee, "Aspectos ambientales de la gestión de grandes obras de infraestructura" (E/CEPAL/PROY.6/R.2), 24 de septiembre de 1981.

³⁴FAO, *Energía para...*, op. cit., p. 258.

proporción de energía fotosintetizada es muy baja debido a la falta de agua, pero en otros se debe a la ineficiencia de las prácticas de cultivo".³⁵

Por ello el primer desafío de estas áreas es detener los procesos degradatorios, para lo cual el análisis energético incorporado a las políticas tecnológicas debe orientarse hacia las siguientes medidas:

- i) Determinar las relaciones hombre/tierra, necesidades básicas y disponibilidad de recursos per cápita, con objeto de establecer las presiones sobre los recursos y evitar tasas de extracción que los exploten en exceso.
- ii) Efectuar balances energéticos de las zonas artificializadas con objeto de determinar las tasas de extracción.
- iii) Usar fundamentalmente tecnologías de manejo de rotaciones culturales, de asociaciones de cultivos y de épocas de siembra.
- iv) Establecer sistemas de cultivo en las superficies escarpadas que reduzcan la energía del relieve y permitan obtener utilidad de ella.³⁶ Por ejemplo, reimplantar el uso de terrazas y prácticas similares.

El segundo gran desafío para estas zonas es recuperar áreas degradadas o en proceso de desertificación. El enfoque energético permite completar las orientaciones de las políticas tecnológicas con las siguientes recomendaciones:

- i) Establecer las tendencias de la degradación a base de los flujos de energía y relacionarlos con las condiciones económico-sociales.
- ii) Establecer un agrosistema que reproduzca alguno de los atributos básicos del ecosistema de clímax y que tienda a la mayor eficiencia posible en la conversión de la energía solar por fotosíntesis.
- iii) La función fotosintética deberá interactuar en la recuperación con la capacidad de retención hídrica para invertir la espiral negativa de sobreexplotación del recurso y deterioro y llegar a la acumulación energé-

tico-hídrica. Para ello deberán implantarse políticas de apoyo que permitan acumular energía evitando la extracción en los primeros años.³⁷

- iv) Las tecnologías genéticas deberán tener primera prioridad en esta recuperación para elevar la eficiencia.
- v) Las tecnologías de manejo deben establecerse coherentemente con nuevas relaciones hombre/tierra en que se evite la sobreexplotación de los recursos.
- vi) Establecer un manejo donde la ganadería cumpla una función integral.

El tercer gran desafío de estas zonas de secano es incorporar áreas muy poco utilizadas por ser marginales o submarginales. Este aspecto reviste especial importancia en la zona andina, donde existen pisos ecológicos superiores que han sido incorporados muy extensamente. La perspectiva energética debe orientarse a:

- i) Establecer un tipo de explotación que dé lugar prominente a la visión ecológica y que enfrente tecnológicamente las limitantes ambientales para aprovechar las ofertas del medio. En este contexto debe considerarse la energía como un factor de oferta.
- ii) Las causales de marginalidad hay que buscarlas en las limitaciones de los ecosistemas. Por ello la incorporación debe ser cautelosa y gradual conservando la baja energía acumulada.³⁸
- iii) Debe dárseles prioridad a las tecnologías genéticas, con el objeto de obtener una artificialización positiva y anular el costo energético de extracción. En primer lugar, deben introducirse plantas que, por sus características metabólicas genéticamente controladas, registren un alto rendimiento hídrico. Las especies forrajeras arbustivas deben ser estudiadas cuidadosamente, tanto en su aporte genético actual, como en sus posibilidades de mejoramiento.

³⁵Roberto Nava, Roberto Armijo y Juan Gastó, "Ecosistema, la unidad de la naturaleza y el hombre", *Serie Recursos Naturales*, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México, 1979.

³⁶La energía producida por diferencia de pendiente que normalmente se traduce en erosión.

³⁷Un interesante trabajo al respecto fue realizado por la Universidad de Cajamarca, en el Perú. Véase "Experiencia del programa de desarrollo rural integral silvoagropecuario de Cajamarca-Perú" (E/CEPAL/PROY.6/R.37), febrero de 1982.

³⁸Sobre las perspectivas agrícolas véase "Estudio agroclimático de la zona andina" (FAO/UNESCO/OMM), Informe técnico, Roma, 1975.

- iv) En este contexto deben tenerse presente las investigaciones que permitan avances en los mecanismos fotosintéticos de fijación del carbono; la ingeniería genética emplea cultivos de tejidos celulares que puedan influir en la eficiencia hídrico-energética; la selección de plantas para mayor eficiencia en condiciones negativas de disponibilidad de agua y temperatura; y una mayor fijación del nitrógeno y su regulación por la fotosíntesis.³⁹
- v) La especificidad de determinadas áreas las hace aptas para tipos de producción ganadera de alto potencial. Aquí debe aprovecharse la selección natural que ha producido animales de alto grado de eficiencia energética, como los camélidos. Su mejoramiento y desarrollo pueden servir para aprovechar ecosistemas de escasos recursos hídrico-energéticos.⁴⁰

³⁹Kuwait Foundation for the Advancement of Sciences (KFAS) *Advances in food-producing systems for arid and semiarid lands*, Academy Press, Nueva York, 1981, p. 126.

⁴⁰Véase Alejandro Colomé, "Producción pecuaria y desarrollo de la ganadería de la vicuña en la ecorregión andina" (E/CEPAL/PROY.6/R.40), Santiago, Chile, marzo de 1982.