

LA PRODUCCION DE ALIMENTOS Y LA CRISIS ENERGETICA*

*David Pimental, L.E. Hurd, A.C. Belloti,
M.J. Forster, I.N. Oka, O.D. Shales, R.J. Whitman***

Se espera que para el año 1975 la población mundial alcance la cifra de 4 billones de seres humanos.¹ Según continúe creciendo la población crecerá la preocupación sobre cómo prevenir o evitar una hambruna en gran escala.² Concurrentemente se espera una crisis energética (causada por escasez de combustibles y precios altos de los mismos) al paso que se vayan agotando rápidamente las reservas del recurso no renovable que son los combustibles de origen fósil.^{3,4} Se espera también que la crisis energética tenga un impacto significativo en la tecnología de la producción de alimentos en los Estados Unidos y en la "revolución verde" porque ambos sistemas de producción de cosechas dependen de grandes insumos de energía.

Ambas gestiones agrícolas, la de agricultura tipo estadounidense y la "revolución verde" han tenido éxitos sorprendentes en aumentar los rendimientos de las cosechas por medio de técnicas muy adelantadas.

La razón entre el número de personas que no se dedican a la agricultura y las que sí se ocupan de las faenas agrícolas en las fincas era de 10 en 1930 y de 48 en 1971.^{5,6} Esto ha creado un gran cambio en la estructura social ya que grandes cantidades de obreros agrícolas,

* Reproducido de la Revista Science-Vol. 182, p. 443-449; Nov. 2-1973. Traducido por Dr. Marco A. Tió.

** D. Pimentel y L.E. Hurd son miembros de la Facultad del Colegio de Agricultura del Estado de New York, y A.C. Belloti, M.J. Forster, I.N. Oka, O.D. Shales y R.J. Whitman son estudiantes graduados de la Universidad de Cornell, Ithaca, New York 14850.

no diestros, emigraron hacia las ciudades.⁷ Además los costos ambientales han sido elevados según lo demuestran los suelos erodados y empobrecidos, la contaminación, la desarticulación de las poblaciones naturales de plantas y animales y la escasez de recursos naturales. Un recurso no renovable que ha sido rápidamente agotado son los combustibles de origen fósil —el elemento más importante en los rendimientos impresionantes y la calidad de las cosechas en los Estados Unidos. La energía se usa en la producción agrícola mecanizada para mover la maquinaria, transportación, riego, abonos, pesticidas y otros instrumentos de producción. Los insumos de combustibles de origen fósil, de hecho, se han convertido en parte tan integral e indispensable de la agricultura moderna que la anticipada crisis energética tendrá un impacto muy significativo sobre la producción de alimentos en todas aquellas partes del mundo que hayan adoptado o estén adoptando los sistemas o métodos de cultivo que se estilaban en el mundo Occidental.

Los autores del presente trabajo, siendo técnicos agrícolas, consideramos que es necesario hacer un cuidadoso análisis para medir los flujos energéticos de la agricultura de Estados Unidos y de las técnicas de la "revolución verde" para producir cosechas. Nuestro enfoque será seleccionar una sola cosecha, maíz, la cual representa los insumos de energía que se usan para otras cosechas en general y hacer un análisis detallado de los productos de esos insumos energéticos. Con los datos sobre insumos y productos en la cosecha de maíz como modelo podremos hacer un examen de las necesidades de energía para un abasto mundial de los alimentos que dependen de una agricultura moderna con uso intensivo de energía. Usando al maíz como ejemplo, vamos a considerar alternativas a las técnicas en la producción de alimentos que puedan representar una reducción de los insumos energéticos. Vamos a limitarnos a reconocer los altos costos de la agricultura de intenso consumo energético de los Estados Unidos y no nos ocuparemos de examinar ninguna de las transacciones de índole social, política o económica en proyecto en este país o en otros cuando la crisis afecte a la comunidad mundial.⁸

Recursos Energéticos

Con el agotamiento de los recursos de combustibles fósiles, el costo de obtener combustibles, tanto de fuentes nacionales como extranjeras, aumentará rápidamente. Si continúa el patrón de uso actual el costo de los combustibles se espera que se duplique o se triplique en una década⁴, y para fines de este siglo se habrá quintuplicado^{9,10}.

Cuando los recursos energéticos escaseen y se encarezcan ocurrirán cambios muy significativos¹¹.

Durante el año 1970 los Estados Unidos consumieron un total de 1.6×10^{16} kilocalorías, lo que es una tercera parte del total de consumo de energía en todo el mundo³ y un 35% del petróleo producido en el mundo ese año¹² para satisfacer las demandas energéticas de solamente una diecisieteava parte de la población mundial. El uso de energía de este país se ha duplicado durante los últimos 20 años. En algunas fases de la producción agrícola la tasa del uso de energía se ha más que triplicado durante el mismo período.

Hammond³ informó que alrededor del 96% de la energía producida en los Estados Unidos "procede del uso de combustibles fósiles: petróleo 43%, mayormente usado en transportación; gas natural 33% y carbón mineral 20%. La energía hidroeléctrica constituye casi 1%." Se espera que el máximo consumo de petróleo ocurra hacia fines de este siglo. Hammond³ estimó que si los Estados Unidos fueran a usar petróleo exclusivamente para proveerse de todas sus necesidades energéticas al ritmo de consumo actual, las reservas conocidas y utilizables de este país se agotarían en sólo 5 años.

Como se dijo anteriormente, la producción de cosechas depende grandemente de insumos energéticos para producir justamente la materia prima. En adición a esto, se consumen grandes cantidades de energía para: transportar la materia prima a los lugares donde se procesa; para congelarla, enlatarla, deshidratarla, molerla, hornearla, etc. Los agricultores dependen también de una multitud de otras industrias que les proveen de maquinaria, fertilizantes, pesticidas, variedades de cosechas mejoradas y otros abastos. Se calcula que por cada trabajador de finca hay dos trabajadores que le asisten indirectamente a través de otras actividades industriales¹⁴. En esta forma se estima que cerca del 20% de la fuerza laboral y las industrias de los Estados Unidos están dedicadas a la producción de alimentos¹⁴. Las actividades industriales relacionadas con la agricultura y el procesamiento de la producción agrícola consumen más energía que la misma producción de cosechas lo cual enfatiza aún más la dependencia que nuestro sistema de producir alimentos tiene en el uso de energía. El dato estadístico referido tan frecuentemente de que un trabajador agrícola alimenta a 48 personas⁵ está equivocado porque el agricultor depende de un complejo de industrias sustantivas de la agrícola.

La Producción de Maíz y los insumos energéticos

Para investigar las relaciones existentes entre los insumos energéticos y la producción de cosechas, hemos seleccionado al maíz por las razones si-

güentes: 1. El maíz generalmente representa los insumos de energía en la producción de cosechas en los Estados Unidos porque representa un término medio de consumo entre la producción de frutas, la cual requiere un uso intensivo y abundante de recursos energéticos, y la producción de granos pequeños y forrages que requieren mucho menos energía. 2. El maíz es uno de los granos más importantes en los Estados Unidos y el mundo. 3. Se dispone de más y mejores datos sobre la producción de maíz que la que se tiene de otras cosechas. Con relación a los datos sobre el cultivo del maíz hemos tenido que depender de los datos y censos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y en estimados obtenidos de otras fuentes. Aún cuando esos datos son los mejores de que se dispone, adolecen de algunas limitaciones inherentes. No obstante esas limitaciones, este análisis proporciona una perspectiva útil con relación al enorme insumo energético que representa la agricultura en los Estados Unidos.

El maíz es el más importante cereal que se produce en los Estados Unidos y ocupa el tercer lugar en la producción mundial de cosechas alimenticias¹⁵. En términos mundiales de producción de cereales le sigue al trigo en cuanto a producción. Durante el año 1971 la producción mundial de maíz en 279 millones de acres fue de 308 millones de toneladas métricas.¹⁶

El rendimiento del maíz por acre (1 acre = 0.405 hectárea = 43560 pies cuadrados = 4426 metros cuadrados) en los Estados Unidos ha aumentado significativamente de 1909 a 1971 (Fig. 1). Durante 1909 el rendimiento promedio de maíz fue de 26 "bushels" por acre (1 bushel de maíz = 56 libras) y durante 1971 el promedio de rendimiento fue de 87 "bushels" por acre. Un aumento pronunciado en la producción por acre se comenzó a registrar en 1950, época en la cual se introdujeron muchos cambios en los métodos de cultivo del maíz, incluyendo la siembra de maíz híbrido^{17,19}. La siembra del maíz híbrido es probablemente responsable por un 20 a un 40% del aumento en los rendimientos del maíz desde la década del 40 con insumos de 40 a 80% de recursos energéticos.^{17,20,21} El maíz híbrido y los insumos energéticos empleados para obtener mayores rendimientos confligen a menudo debido a que se seleccionan variedades de maíz por sus características que lo hacen crecer bien y producir bajo condiciones ambientales específicas, por ejemplo; utilización de altos insumos de fertilizantes. Sin la base genética apropiada, el maíz no responderá a ese insumo alto de fertilizante, y desde luego la planta no crecerá si no hay el fertilizante en las cantidades necesarias para ella.

TABLA I — Promedio de Insumos Energéticos en la producción de maíz durante varios años (Todas las cifras representan consumo por acre)

	1945	1950	1954	1959	1964	1970
*1. Mano de obra	23	18	17.7	14	11	9
*2. Maquinaria (Kilo-cal./10 ³)	180	250	300	350	420	420
*3. Gasolina (galones)	15	17	19	20	21	22
*4. Nitrógeno (libras)	7	15	27	41	58	112
*5. Fósforo (libras)	7	10	12	16	18	31
*6. Potasio (libras)	5	10	18	30	29	60
*7. Semillas (bushels)	0.17	0.20	0.25	0.30	0.33	0.33
*8. Riego (Kilo-cal./10 ³)	19	23	27	31	34	34
*9. Insecticidas (libras)	0	0.1	0.25	0.38	1.0	
*10. Yerbicidas (libras)	0	0.05	0.1	0.25	0.38	1.0
*11. Secado del producto (Kilo-cal./10 ³)	10	30	60	100	120	120
*12. Electricidad (Kilo-cal./10 ³)	32	54	100	140	203	310
*13. Transportación (Kilo-cal./10 ³)	20	30	45	60	70	70
*14. Rendimiento (Bushels por acre)	34	38	41	54	68	81

(Ver pág. 54 para explicación)

- *1. Promedio de horas de trabajo por acre de cultivo en los Estados Unidos^{6,25}
- *2. Cifras obtenidas por cálculos hechos por los autores basándose en los datos ofrecidos en las referencias^{63,64,65}
- *3. Cifras obtenidas por cálculos hechos por los autores basados en los datos ofrecidos en las referencias^{22,64,65,66}.
- *4. Los fertilizantes (N-P-K) aplicados al maíz se basan en estimados hechos por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos^{25,26,61,62}.
- *7. En 1970 la siembra relativamente cerrada de maíz requería cerca de 1/3 de bushel (25,000 granos o 34,000 kilo-calorías por acre). Las siembras menos densas en 1945 usaban 1/6 de bushel de semilla. Debido a que el maíz híbrido requiere cuidado especial en su cultivo, el insumo energético para la siembra en 1970 se estimó en 68,000 kilo-calorías.
- *8. Cifras obtenidas por cálculos hechos por los autores basados en los datos ofrecidos en las referencias^{2,55,67,68,69,70}
- *9. Los estimados de insecticidas usados por acre de maíz se basan en el hecho de que muy poco o ninguno se usaba en maíz en 1945 pero para 1964 se alcanzó un máximo de uso según^{28,51}.
- *10. Los estimados de yerbicidas usados por acre de maíz se basan en el hecho de que muy poco o ninguno se usaba en maíz en 1945 pero la tendencia ha sido a usar cada vez más y aún sigue esta tendencia^{28,51}.
- *11. Cuando se seca para almacenamiento hay que reducir la humedad de 26.5% a 13% lo cual requiere alrededor de 408,204 kilo-calorías por bushel⁷¹. Se calcula que en 1970, 30% de todo el maíz producido fue secado en comparación con el 10% que se seco en 1945.
- *12. La agricultura de Estados Unidos consumió cerca de 2.5% de toda la electricidad producida en 1970²⁴, la cual requirió 424.2 trillones de unidades termales británicas (BTUs) de energía derivada de combustibles fósiles para generarla⁷², lo cual representa 310,000 kilo-calorías por acre de tierra de cultivo en el año 1970^{6,51}. El combustible usado para producir energía eléctrica para períodos más antiguos se estimó de datos informados en Statistical Abstracts.⁷³
- *13. Los estimados del número de calorías consumidas en la transportación y uso de maquinaria y materiales en la siembra de maíz así como el acarreo de éste a los sitios de procesamiento y consumo se basan en datos del Departamento de Comercio de los Estados Unidos,⁷⁴ Oficina del Censo^{65,57,72}, Comisión Inter-estatal del Comercio⁷⁵ y Departamento de Transportación de los Estados Unidos⁷⁶. Para 1964 y 1970 se estimó que las calorías consumidas en la transportación del maíz era

cerca de 70,000 kilo-calorías por acre mientras que en 1945 era de cerca de 20,000 kilo-calorías por acre.

- *14. El rendimiento del maíz para un año en particular se expresa como un promedio de 3 años, o sea el año indicado, el anterior y el posterior.^{55, 59, 60}

Para mayor información sobre estos datos refiérase al artículo original.

Mientras aumentaba el rendimiento del maíz en cerca de 240% de 1945 a 1970, la mano de obra utilizada por acre disminuyó en más del 60% (Tabla #1). El uso de una mecanización intensiva en el cultivo de maíz redujo el uso de mano de obra y en parte hizo posible los aumentos en los rendimientos de esta cosecha.

El uso de maquinaria en la agricultura ha aumentado significativamente durante los últimos 20 años; la tasa promedio de trabajo expresado en "caballos de vapor" (Horse Power) por obrero agrícola empleado, aumentó de 10 H.P. en 1950 a 47 H.P. en 1971⁵. El número de tractores aumentó en un 80% y la potencia de dichos tractores también aumentó 2.6 veces en términos de H.P. o sea, de 18.0 a 46.6 H.P.^{6, 22}. El promedio de acres cultivado por tractor fue de 62 en 1963²². En nuestros estimados hemos asumido que los tractores y otra maquinaria agrícola se usó para cultivar 62 acres y también asumimos que esto funcionaría así por 10 años (Tabla #1)

El consumo de combustibles por toda la maquinaria agrícola aumentó de un poco más de 3.3 billones de galones en 1969^{22, 65}. Para el total de la producción de maíz en los Estados Unidos el consumo de combustible por toda la maquinaria agrícola empleada aumentó de un estimado de 15 galones por acre en 1945 a cerca de 22 galones por acre en 1970 (Tabla #1). Ciertamente, la agricultura consume más petróleo que cualquier otra industria²⁴.

El uso de fertilizantes en la producción de maíz ha estado aumentando constantemente desde 1945 (Fig. 2). Se estima que se aplicaron 7 libras de nitrógeno, 7 libras de fósforo y 5 libras de potasio, (1 libra = 0.4 kilogramo) a cada acre fertilizado en 1945²⁵. Para el año 1970 el uso de fertilizantes había ascendido hasta 112 libras de nitrógeno, 31 libras de fósforo y 60 libras de potasio por acre²⁶; el aumento en nitrógeno solamente se había aumentado 16 veces.

Otros insumos en la producción de maíz, incluyen semillas, riego y pesticidas (Tabla #1). El uso de pesticidas en maíz ha venido aumentando rápidamente durante los últimos 20 años, paralelamente con aumento general en el uso de pesticidas en los Estados Unidos²⁷ (Tabla #1).

Cerca del 41% de todos los yerbicidas y 17% de todos los insecticidas usados en la agricultura se aplican a la cosecha de maíz²⁸.

El maíz híbrido que corrientemente se cosecha tiene un alto contenido

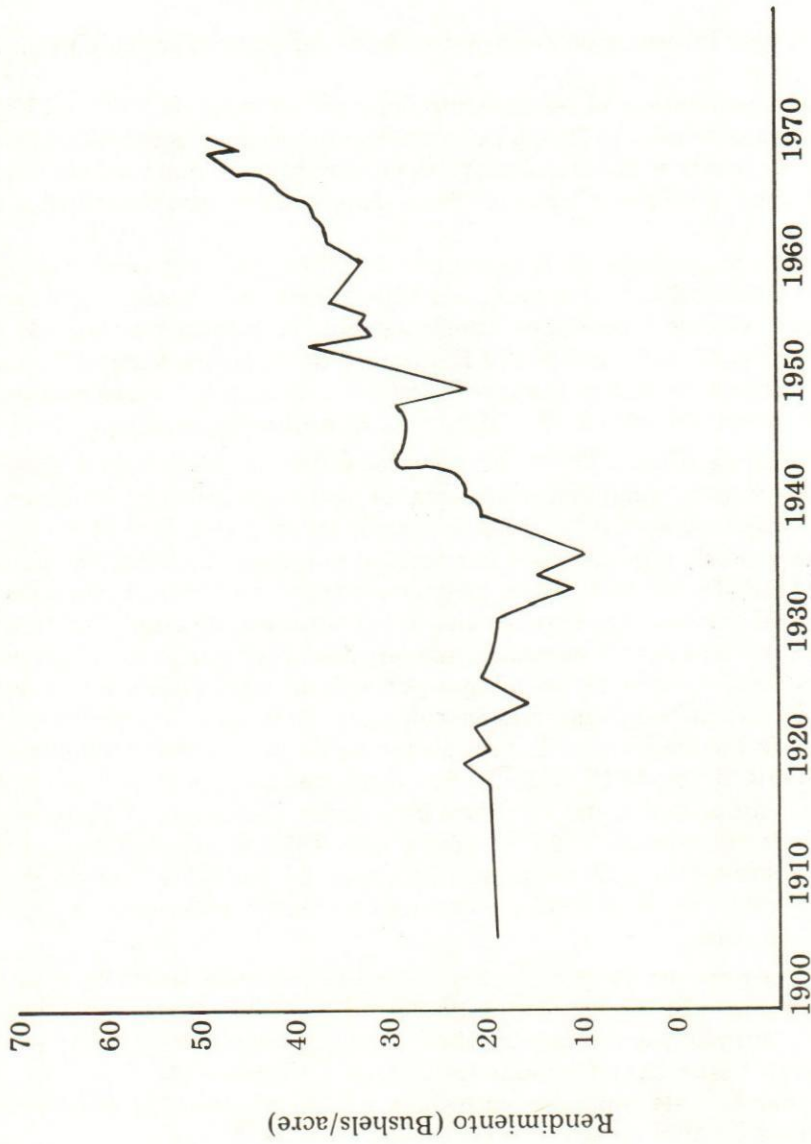


Fig. 1. Producción de maíz en los Estados Unidos de 1909 a 1971^{55,59,60}

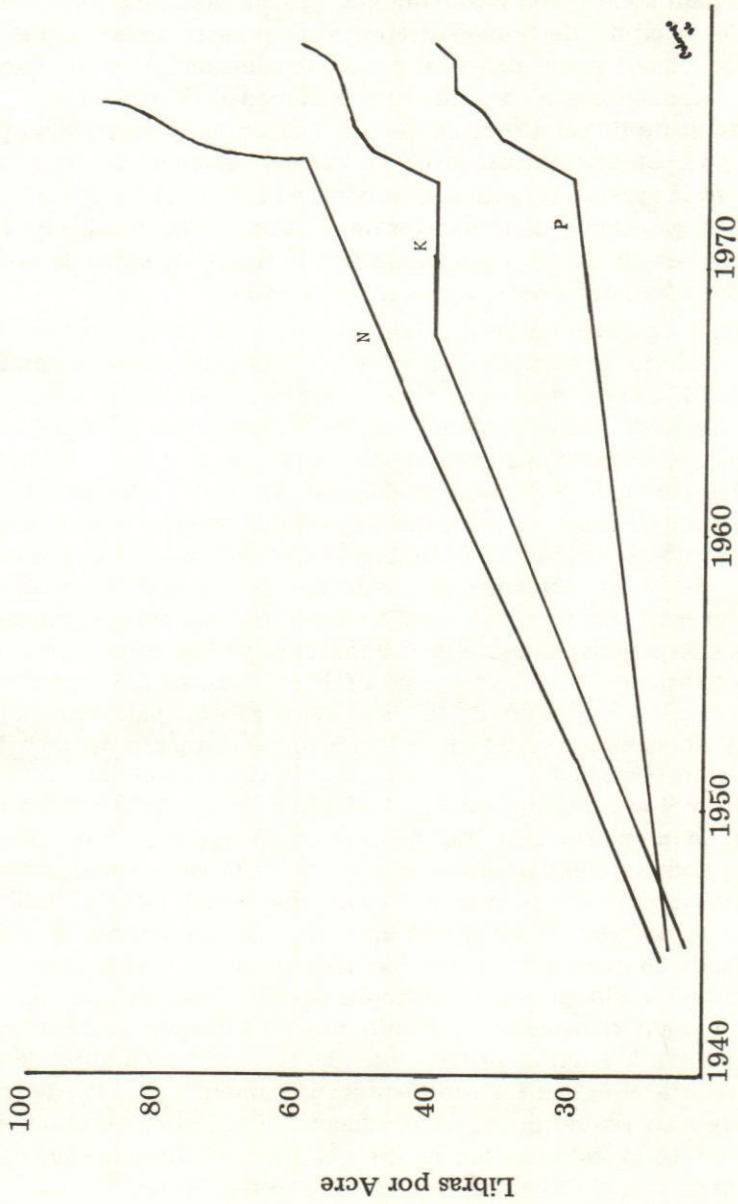


Fig. 2. Abonos (Nitrógeno-Fósforo y Potasio) aplicados a las siembras de maíz por acre cultivado.

de humedad porque las nuevas variedades usadas tienen un período de crecimiento más largo y se extiende hasta bien entrado el otoño cuando las condiciones para secarlo son desfavorables¹⁹. Una humedad de más de 13% (lo cual es el máximo de humedad apropiada para el almacenamiento del grano a largo plazo) causa daños al producto almacenado y por tanto hay que secarlo con maquinaria para rebajarle la humedad (Tabla #1).

La agricultura consumió cerca del 2.5% de toda la electricidad producida (Tabla #1). La energía usada en la transportación es un renglon muy importante en la agricultura intensiva moderna (Tabla #1). Maquinaria, pesticidas, semillas, gasolina y otros abastos deben transportarse hacia las fincas y luego el maíz cosechado hay que transportarlo hacia los sitios de uso ya sea como producto fresco; forrage, o para ser procesado.

Para tener una idea de los cambios que ocurren en los insumos energéticos en un período de tiempo determinado en la producción de maíz, citamos los años 70 para un análisis detallado (Tablas 1 y 2). No se seleccionaron intervalos exactos de 5 años porque los datos disponibles eran más completos para los años que se mencionan específicamente que para otros años.

En 1970 cerca de 2.9 millones de kilo-calorías fueron usadas por los agricultores para cultivar un acre de maíz (equivalentes a la energía que producen 80 galones de gasolina) (Tabla #2). De 1945 a 1970 el promedio de rendimiento del maíz aumentó de cerca de 34 "bushels" por acre a 81 "bushels" por acre (un aumento de 2.4 veces); sin embargo, el promedio de los insumos energéticos aumentó de 0.9 millones de kilo-calorías a 2.9 millones o sea, un aumento de 3.1 veces más (Tabla #2). Luego, el rendimiento en calorías del maíz disminuyó de 3.7 kilo-calorías por cada kilo-caloría de combustible consumida en 1945 para lograr un rendimiento de 2.8 kilo-calorías en el período de 1954 a 1970 o sea, una disminución de 24%.

Los 2.9 millones de kilo-calorías obtenidas de combustible fósil y usadas por acre de maíz producido representan una pequeña porción del insumo energético cuando lo comparamos con el insumo energético que provee la luz solar. Durante el período de crecimiento del maíz cerca de 2043 millones de kilo-calorías se reciben del sol sobre un acre de cultivo; cerca de 1.26% de ésta es utilizada en producir la planta de maíz y cerca de 0.4% en producir el grano. (Cálculo basado en una producción de 100 "bushels" por acre)²⁹. El 1.26% mencionado representa 26.6 millones de kilo-calorías. De aquí que cuando se incluye la energía proveniente del sol, los 2.9 millones de kilo-calorías que aporta el agricultor representan únicamente un 11% del total de insumo energético requerido en la producción de 1 acre de maíz. Lo más interesante de todo esto es que la energía solar es ilimitada en cuanto a tiempo mientras que el abasto de combustible fósil es finito.

Las tendencias en los insumos energéticos y la producción de maíz confirman varias especulaciones agrícolas y concluyen en que la impresionan-

te producción agrícola de los Estados Unidos se ha obtenido a través de enormes insumos de energía fósil⁸⁻³⁰

TABLA 2 — Insumos energéticos (Kilocalorías) consumidos en la producción de maíz.

Insumo	1945	1950	1954	1959	1964	1970
1. *Mano de obra	12,500	9,800	9,300	7,600	6,000	4,900
2. *Maquinaria	180,000	250,000	300,000	350,000	420,000	420,000
3. *Gasolina	548,000	615,800	688,300	724,500	760,700	797,000
4. *Nitrógeno	58,800	126,000	226,800	344,400	487,200	940,800
5. *Fósforo	10,600	15,200	18,200	24,300	27,400	47,100
6. *Potasio	5,200	10,500	50,400	60,400	68,000	68,000
7. *Semillas	34,000	40,400	18,900	36,500	30,400	63,000
8. *Riego	19,000	23,000	27,000	31,000	34,000	34,000
9. *Insecticidas	0	1,100	3,300	7,700	11,000	11,000
10. *Yerbicidas	0	600	1,100	2,800	4,200	11,000
11. *Secado del producto	10,000	30,000	60,000	100,000	120,000	120,000
12. *Electricidad	32,000	54,000	100,000	140,000	203,000	310,000
13. *Transportación	20,000	30,000	45,000	60,000	70,000	70,000
Total de Insumos	925,500	1,206,400	1,548,300	1,889,200	2,241,900	2,896,800
14. *Rendimiento del maíz (Producción)	3,427,200	3,830,400	4,132,800	5,443,200	6,854,400	8,164,800
Beneficio en Kilo- calorías por Kilo- caloría utilizada	3,70	3,18	2,67	2,88	3,06	2,82

- *1. Se asume que un obrero agrícola consume 21,770 kilocalorías por semana y trabaja 40 horas a la semana. En 1970: (9 horas/40hrs.) x 21,700 kilocalorías = 4,900 kilocalorías.
- *2. Ver tabla #1.
- *3. Gasolina, 1 galón 36,225 kilo-cal.⁷⁷.
- *4. Nitrógeno, 1 libra = 8,400 kilo-cal. incluyendo producción y procesamiento⁷⁸.
- *5. Fósforo, libra = 1,520 kilo-cal. incluyendo extracción minera y procesamiento⁷⁹.
- *6. Potasio, 1 libra = 1,050 kilo-cal. incluyendo extracción minera y procesamiento.⁷⁹
- *7. Semillas de maíz para siembra, 1 libra = 1,800 kilo-cal.³³. Este insumo energético se duplicó debido al esfuerzo en producir semillas de maíz híbrido.
- *8. Ver tabla #1.
- *9. Insecticidas 1 libra = 11,000 kilo-cal. incluyendo producción y procesamiento³¹.
- *10. Yerbicidas 1 libra = 11,000 kilo-cal. incluyendo producción y procesamiento³¹.
- *12. Ver tabla #1.
- *13. Ver tabla #1.
- *14. Se asume que cada libra de maíz contiene 1,800 kilo-calorías³³ y un bushel tiene 56# de maíz = 100,800.

Alternativas

Hay que buscar algunas alternativas para reducir el insumo de energía utilizado en la producción de alimentos cuando las fuentes convencionales de recursos energéticos escaseen o los precios suban y a continuación mencionamos algunas de las alternativas prácticas que podrían utilizarse en la producción de maíz y otros cultivos.

El insumo energético proporcionado por la mano de obra utilizada en la finca en producción de maíz es el más pequeño de todos los insumos, es solamente 4900 kilo-calorías (Tabla #2). Al aumentar el uso de la mano de obra puede reducirse significativamente algunos de los insumos energéticos. Por ejemplo: una aplicación de yerbicidas en maíz requiere cerca de 18,000 kilo-calorías por acre cuando se aplica con tractor y asperjador³¹ pero si se aplica a mano se consumen 300 kilo-calorías solamente. Por otro lado, aunque se usa una sexagésima parte de la energía (1/60) cuando se aplica a mano el costo de esta operación en la actualidad es casi cuatro veces mayor que si se aplicara con tractor. La aplicación a mano y el uso de la mano de obra en general puede ser económicamente productiva cuando los costos de los combustibles aumente y si los yerbicidas se usan en áreas específicas o limitados a áreas pequeñas.

La maquinaria y la gasolina comprenden un gran insumo energético en la producción de maíz (Tabla #2). Una alternativa viable para reducir este consumo de combustible sería el usar la maquinaria programadamente para cada cultivo y operarla a velocidades eficientes³².

Algunos de los tractores extremadamente grandes y otra maquinaria rendirán más trabajo por unidad de tiempo pero esta ventaja es eliminada por los requisitos por más combustibles para la operación de la maquinaria grande. Además de que aumentando el número de acres cultivados por un tractor u otra maquinaria (usualmente 62 acres/tractor) ayudaría a reducir este insumo. Los caballos y las mulas no son substitutos satisfactorios para la maquinaria debido a la gran cantidad de energía que ellos consumen en forma de alimentos y forrages³³.

En la producción de maíz el insumo mayor es la fertilización; entre éstos la producción de nitrógeno es la que requiere la mayor cantidad de energía. (Tablas 1 y 2). Una fuente potencial de fertilizantes es el estiércol de ganado que se produce en cantidades relativamente pequeñas en las fincas y que actualmente no se está usando en la producción de cultivos.

Hemos mencionado que los fertilizantes químicos se aplican al maíz en proporciones de 112 libras de nitrógeno, 31 libras de fósforo y 60 libras de potasio (Tabla 1). Una cantidad igual de nitrógeno se obtiene del estiércol producido por una vaca lechera, o por dos becerros de engorde para carne o por nueve cerdos, o por 84 gallinas³⁴. Además de fertilizar el suelo, el estiércol le añade materia orgánica la cual aumenta el número de bacterias beneficiosas y mejora la capacidad de retención de agua por el suelo así como su capacidad de infiltración, reduce la erosión y mejora la razón carbono/nitrógeno del suelo.

Los costos mayores en el uso de estiércol para la producción de cultivos son el acarreo y la distribución; para utilizar el estiércol en un radio de 1/2 a 1 milla (1 milla = 1.6 kilómetros) del sitio donde se produce, se requiere un consumo de 1.1 galón de gasolina por tonelada (calculado de un dato por Linton³⁶). Si el promedio de la aplicación de estiércol es 10 toneladas (lo producido por una vaca en un año) por acre, se necesitarán 398.475 kilo-calorías (11 galones de gasolina) por acre para transportarlo y aplicarlo y por tanto fertilizar el maíz con estiércol.

La producción de abono químico para un acre de maíz (116 libras de N; 31 libras de P y 60 libras de K₂O) requiere un total de 1,415,200 kilo-calorías (Tabla 2). Si se necesita un galón de gasolina para aplicar el estiércol con un tractor tendremos que se necesita 1,451,425 kilo-calorías para producir y aplicar el fertilizante químico necesario para un acre de maíz. De aquí que si se sustituyera éste por estiércol, la economía en el uso de energía sería muy sustancial ya que representaría 1.1 millón de kilo-calorías por acre.

Se calcula que corrientemente se producen en los Estados Unidos unos 1.7 billones de toneladas de estiércol por año, más del 50% del cual se produce en las parcelas de engorde y establos de crianza³⁷. Si 20% del estiércol producido en esos sitios (0.17 billones de toneladas) estuviese disponible para la producción de maíz se podrían fertilizar 17 millones de acres de este cereal con un promedio de 10 toneladas por acre lo cual representaría el haber abonado un 30% del área cultivada de maíz en 1970³⁸. Además de haber economizado una cantidad substancial de combustible, la utilización del estiércol sería una forma efectiva de reusar esos desperdicios de origen animal³⁹.

Si se decidiera usar algún estiércol del producido en los Estados Unidos en la producción de maíz, ésto significaría que las parcelas de engorde y establos se ubicarían cerca de las áreas de siembra de maíz donde se vaya a aplicar el estiércol. Esta redistribución de áreas de siembra y producción pecuaria requeriría un cuidadoso análisis y estudio de los gastos asociados o concurrentes.

Los insumos que representa el uso de nitrógeno como fertilizante agrícola pueden reducirse también por medio de la siembra de leguminosas o de otros cultivos alternos en rotación con el maíz. Por ejemplo la siembra de trébol dulce (sweet clover) en el otoño para incorporarlo al terreno un año más tarde añadirá al suelo cerca de 150 libras de nitrógeno por acre⁴⁰. La rotación de maíz con una leguminosa sirve también como método de control del gusano de la raíz⁴¹, reduciría los problemas de enfermedades del maíz⁴² y reduciría el problema del crecimiento de los verbajos⁴³.

Cuando las rotaciones no son factibles, es posible sembrar leguminosas entre los surcos de maíz a fines de agosto e incorporarlo al terreno con arado a principios de la primavera. En el noreste de Estados Unidos, Sprague⁴⁴ informa que sembrando a fines de agosto las áreas ocupadas por el maíz con leguminosas y luego incorporarlo al terreno a fines de abril, proporcionó alrededor de 133 libras de nitrógeno por acre. Una cosecha de cobertura también protege al suelo contra la erosión tanto por agua como por el viento en el invierno y tiene, además, las mismas propiedades del estiércol en cuanto a proveerle al suelo materia orgánica.

El costo energético de sembrar una leguminosa sería de alrededor de 90,000 kilo-calorías por acre (combustible y semillas). Para la producción comercial de 133 libras de nitrógeno se necesitan 1.53 millones de kilo-calorías así que la energía economizada con la siembra de una leguminosa para usarse como abono verde sería de 1.5 millones de kilo-caloría/acre lo cual es una economía significativa. De donde se desprende que el uso de leguminosas como abono verde ofrece mayores economías energéticas y de otra índole que el uso del estiércol de ganado.

Con fertilizantes y otros insumos alternativos se podría lograr una forma o método para determinar el beneficio máximo por insumo en combinación con los demás insumos. En una investigación de insumos de fertilización en Iowa, Munson y Doll⁴⁵ informaron que con 34 libras de fósforo por acre y 200 libras de nitrógeno por acre, ellos calcularon que el promedio de rendimientos de maíz en cerca de 101 "bushels" por acre sí se mantenían los demás insumos constantes (Figura 3). Combinando la mayoría de los insumos energéticos de 1970 de los datos que aparecen en las tablas 1 y 2 con los datos del nitrógeno, fósforo y rendimiento de maíz en el trabajo de Munson y Doll, hemos podido calcular los beneficios en kilo-calorías por kilo-caloría consumida (Figura 3).

El beneficio máximo fue de 3 kilo-calorías por cada kilo-caloría consumida con una fertilización de 120 libras de nitrógeno por acre. Para 1970 y usando 112 libras de nitrógeno y 31 de fósforo por acre el beneficio máximo fue de 218 kilo-calorías por cada kilo-caloría usada (Tabla 2). A base de los insumos de nitrógeno únicamente, combinados con los otros insumos señalados para 1970, aparecería que 112 libras de nitrógeno por acre proveen aproximadamente un beneficio máximo en kilo-calorías por kilo-caloría consumida.

Los yerbajos pueden controlarse efectiva y económicamente bien por medio de yerbicidas y mecanización o por una combinación de ambos⁴⁶. A base del gasto de energía, el control de los yerbajos por medio de yerbicidas requiere más energía que el cultivo mecánico. Por ejemplo: El uso de 2 libras de un yerbicida Pre-emergente y 2 libras de uno Post-emergente por acre, requiere un insumo total de energía de cerca de 80,225 kilo-calorías por acre (11,000 kilo-calorías por libra de yerbicida más un galón de gasolina para las dos aplicaciones)³¹. Tres cultivos, (usando una azada giratoria) requerirá aproximadamente 2 galones de gasolina o sea 72,450 kilo-calorías por acre. Aunque la economía no es tan grande existen alternativas para reducir los insumos energéticos en el control de los yerbajos.

Con yerbicidas post-emergentes y bajo ciertas condiciones podría controlarse las malas yerbas en áreas específicas y por lo tanto reducir la cantidad total de yerbicida usado. Para lograr esto eficientemente se necesitará más mano de obra. En general, en la actualidad el costo alto de la mano de obra y bajo de los recursos energéticos haría esto prohibitivo pero con altos costos de energía, la eliminación de malas yerbas en áreas específicas solamente podría hacerse económicamente factible.

La rotación del cultivo de maíz con el de leguminosas y granos pequeños puede reducir significativamente los problemas de los yerbajos⁴⁷ y por lo tanto se reducen así los insumos energéticos en el control de malas yerbas.

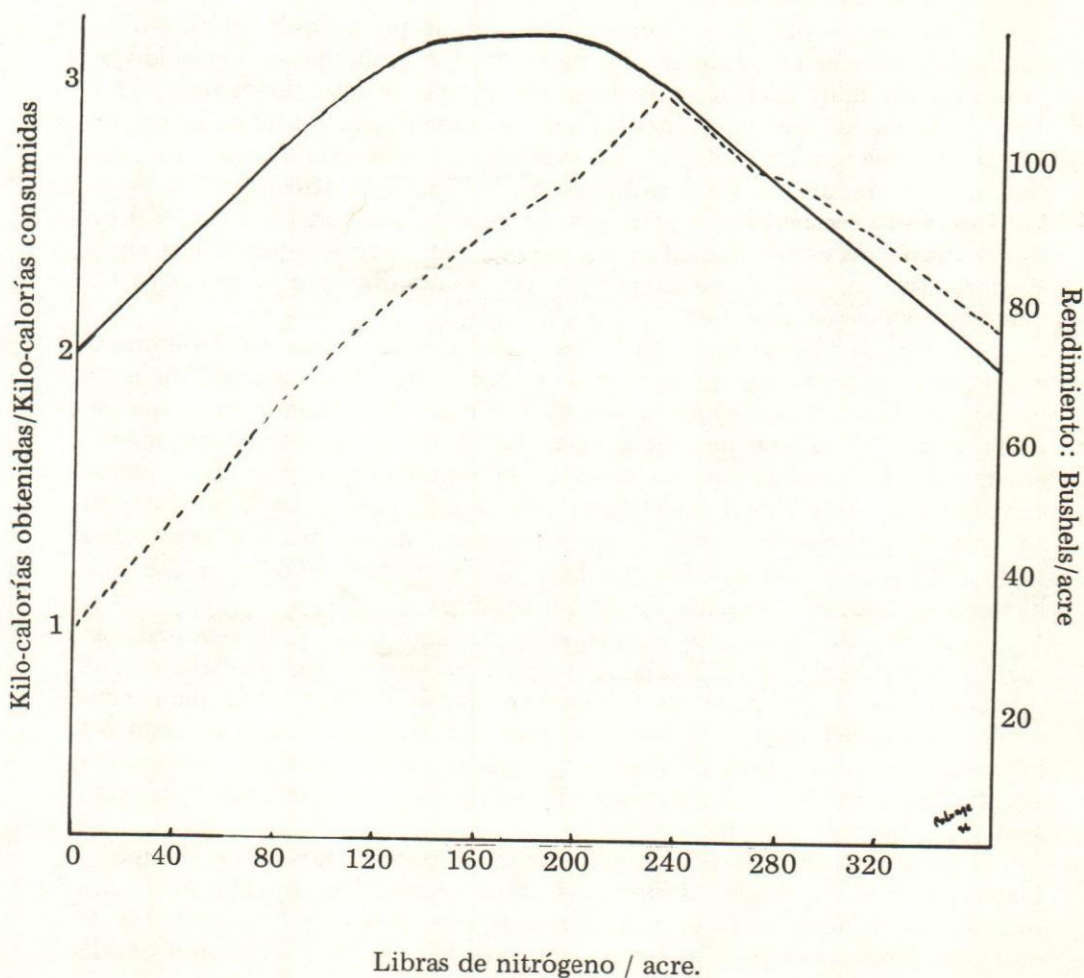


Fig. 3 — Rendimiento de maíz (bushels/acre indicados por la línea quebrada) con cantidades variables de Nitrógeno/acre (El fósforo se mantuvo en 34 libras/acre)⁴⁵. Las kilocalorías producidas por kilocaloría consumida (línea sólida) se calcularon de los datos obtenidos por Munson y Doll⁴⁵ y por los datos de insumos para 1970 que aparecen en las tablas 1 y 2.

El reducir algunas prácticas de cultivo al mínimo razonable podría ser también otra forma de reducir los insumos energéticos al arar, rastrillar, etc., con menos frecuencia pero ésto debe hacerse en forma tal que no cause un aumento en la aparición de enfermedades e insectos. Es necesario hacer un análisis completo para determinar con precisión los costos y beneficios de esta alternativa.

El contenido proteínico del maíz ha variado poco desde 1910, teniendo desde entonces un promedio de 9%^{48, 49}. Sin embargo, el contenido de proteínas del maíz podría aumentarse por medio de selecciones hasta 12 ó 15%⁵⁰. El significado y la importancia de aumentar la cantidad de proteína en el maíz en tan sólo 1% es evidente cuando calculamos que ello significará la reducción de 2 millones de toneladas de afrechos de soya en los alimentos concentrados para ganado que se usan en los Estados Unidos⁴⁸. Sería necesario aumentar algunos de los insumos energéticos en la siembra de "cultivares" de maíz con alto contenido proteínico pero los beneficios sobrepasarían por mucho a los costos.

La hibridación de maíz para lograr resistencia a insectos, enfermedades y aves reduciría los insumos energéticos al usarse menos pesticidas. A la vez también ésto reduciría los problemas de contaminación que se originan con el uso de pesticidas agrícolas. También se necesitaría menos energía en la producción de maíz si se desarrollaran y usaran nuevas variedades de este cereal que fueran más tempraneras, o sea, que rinden su cosecha en menos tiempo; que requiriesen menos uso de riego; que tuviera un grado de humedad tan bajo que requiera menos secado o que hiciesen un uso más eficiente de los fertilizantes.

Aún cuando solamente un pequeño por ciento del área sembrada en maíz recibe riego (3.8%), la transportación del agua a los plantíos es una operación que requiere demasiada energía. La única alternativa para reducir los costos del riego es sembrar el maíz en regiones donde el riego sea innecesario o muy poco. Se prevee que en el futuro los altos costos de la energía automáticamente representarán una reducción aún mayor del área sembrada de maíz con riego.

El insumo energético que representa la transportación de equipo y materiales hasta y desde las fincas es considerable. Una oportunidad para reducir este insumo sería el mover más de esos abastos por tren en vez de usar camiones porque los trenes son muchísimo más eficientes en la transportación⁸.

Abasto Mundial de Alimentos

La escasez de alimentos en algunos países ha movido a los Estados Unidos a desarrollar varios programas internacionales de ayuda a la "revo-

lución verde." Las técnicas de producción de la "revolución verde" adquieren grandes cantidades de insumos energéticos especialmente en forma de fertilizantes, pesticidas, semillas de híbridos, etc. Obviamente según ocurra una escasez de energía y los costos aumenten, el éxito de la "revolución verde" se verá afectado. Por esta razón los problemas de la producción alimenticia y las demandas por energía a nivel mundial son examinados brevemente.

Al estimar los requisitos energéticos de combustibles necesarios para producir alimentos para 4 billones de seres humanos asumimos que esta producción será a base de las tecnologías agrícolas de los Estados Unidos y de la "Revolución Verde."

Usaremos los datos de la producción de maíz en los Estados Unidos porque se aproximan al promedio de insumos y producto de la producción alimenticia moderna. Nuestro análisis indica que cerca de 2.9 millones de kilo-calorías de energía son necesarias para sembrar y cosechar un acre de maíz en 1970, ésto equivale a la energía que hay en 80 galones (1.5 barriles) de gasolina por cada acre producido (Tabla 2).

Se estima que en 1970 se sembraron 330 millones de acres de varios cultivos (excluyendo el algodón y el tabaco)⁶⁻⁵¹. Teniendo los Estados Unidos cerca de 200 millones de habitantes, ésto significa un promedio de 1.7 acres por habitante pero como exportamos cerca del 20% de nuestra producción, el promedio estimado sería de cerca de 1.4 acres "per cápita." En términos de combustible por persona para producir alimentos, empleando métodos modernos de agricultura intensiva, significaría equivalentemente a 112 galones de gasolina por persona (80 galones por acre X 1.4 acres por persona 112 galones). Usando la tecnología agrícola de los Estados Unidos para alimentar la población mundial de 4 billones de seres con una dieta como la del americano promedio durante un año requerirá la energía equivalente a 488 billones de galones de combustible.

Para tener una idea de lo que serían los requisitos energéticos para las diferentes dietas si se emplearan para todas ellas la misma tecnología agrícola de los Estados Unidos hemos hecho un estimado del tiempo que tomaría agotar los recursos y reservas petrolíferas mundiales; conocidos y potenciales. Las reservas conocidas se han estimado en 546 billones de barriles⁵². Si asumimos que el 76% del petróleo crudo se puede convertir en combustibles⁵² ello significaría una reserva utilizable de 415 billones de barriles. Si el petróleo fuera la única fuente de energía y si usáramos todas las reservas de petróleo para producir alimentos para alimentar la población mundial, los 415 billones de barriles de reserva durarían solamente 29 años (415 billones de barriles/448 billones de galones/31.5 galones por barril = 29 años).

El estimado sería 107 años si todas las reservas potenciales (2,000

billones de barriles) de petróleo se usaran para la producción de alimentos⁵³. Sin embargo, si la población mundial estuviera dispuesta a comer maíz solamente, las reservas potenciales de petróleo en el mundo darían energía para alimentar una población mundial de 10 billones de seres humanos en los próximos 448 años.

Contrario a lo que popularmente se cree, la producción de alimentos en los Estados Unidos es costosa⁵⁴ aunque solamente 16.6% de los ingresos promedio per cápita disponibles en los Estados Unidos (\$3,595.00) se gastó en alimentos en 1970, ese por ciento es pequeño sólo porque el ingreso per cápita en los Estados Unidos es alto. El 16.6% de ese ingreso (\$3,595.00) usado en alimentos es de \$597.00. Como una tercera parte del precio de un producto a nivel del consumidor representa los costos de producción⁵⁵ resulta que cuesta \$199.00 producir \$597.00 en alimentos, o sea, 3,110 kilo-calorías por persona diariamente durante un año (incluyendo 66 gramos de proteína animal y 18 gramos de grasa de origen animal²⁻⁵⁶. Esto es el equivalente de 5,280 kilo-calorías de origen vegetal por persona diariamente durante un año (asumiendo que se necesitan 7 kilo-calorías de productos de origen vegetal para producir 1 kilo-caloría de proteína animal y grasa; 1 gramo de proteína animal = 4 kilo-calorías y 1 gramo de grasa = 9 kilo-calorías). Luego el costo de 1,000 kilo-calorías de producto vegetal será de cerca de \$38.00.

En la India el 77% del ingreso personal se gasta en alimentos con gastos per cápita por valor de cerca de \$23.00 (incluyendo costos de mercadeo) por año². Se calcula que las personas ingieren el equivalente de 2,000 ~~kilo~~-calorías promedio por día, siendo de éstas cerca de 7 gramos diarios de proteína animal y asumiendo que usan 2 gramos por día de grasa animal². Esto es equivalente a 2,280 ~~kilo~~-calorías de origen vegetal por persona diariamente por año. Luego el costo de 1,000 kilo-calorías de origen vegetal es de \$10.00; por tanto, el costo de producir 1,000 kilo-calorías de origen vegetal diariamente durante un año es significativamente menos en la India que en los Estados Unidos. Esto se debe en parte a las diferencias que existen en las plantas que se producen para alimento en ambas naciones.

Conclusiones

La principal materia prima en la agricultura moderna en los Estados Unidos es los combustibles de origen fósil. En este país el insumo mano de obra es relativamente bajo (cerca de 9 horas por acre de cultivo). Como la agricultura depende en la energía de origen fósil, los costos de producción también se elevarán cuando se aumenten de 2 a 5 veces. Un rendimiento de 2.8 kilo-calorías obtenidas del maíz por cada kilo-caloría de insumo

energético fósil es anti-económico.

La "revolución verde" también usa una tecnología que requiere grandes cantidades de energía fósil para la producción de cosechas, especialmente en lo que se refiere al uso de fertilizantes y pesticidas. No se puede dudar de la sinceridad de los Estados Unidos y sus esfuerzos en compartir su tecnología agrícola para que el resto del mundo pueda vivir y comer al estilo americano pero es necesario ser realista en cuanto a los recursos disponibles para lograr ese objetivo. En los Estados Unidos estamos usando generalmente un promedio de energía equivalente a 80 galones de gasolina para producir un acre de maíz. Con la escasez de combustibles y los altos precios que se vislumbran, nos sorprenderá que muchas naciones en proceso de desarrollo logren aplicar la tecnología usual en la agricultura de los Estados Unidos.

Ya han surgido problemas con relación a las cosechas propuestas para la "revolución verde," particularmente problemas relacionados con las plagas y enfermedades⁵⁷. Se esperan problemas más críticos aún a la luz de la crisis energética mundial. Debe hacerse un estimado cuidadoso de los costos, beneficios y riesgos de la demanda por gran cantidad de energía a aplicarse en las técnicas de la "revolución verde" de modo que se pueda estar en lo cierto de que este programa no irá a agravar aún más la ya seria situación alimenticia mundial⁵⁸.

Para reducir los insumos energéticos que utilizará la "revolución verde" y la agricultura al estilo de los Estados Unidos, deben emplearse ciertas alternativas como rotación de cosechas y abonos verdes para reducir la gran demanda por energía que representa el uso de fertilizantes químicos y pesticidas. La agricultura de los Estados Unidos debe también reducir su consumo energético y utilizar la mano de obra que ha sido desplazada por la mecanización.

Aunque nadie sabe a ciencia cierta cuáles cambios tendrán que hacerse, podemos asegurar que cuando las fuentes convencionales de energía se tornen escasas y costosas, el impacto que ello habrá de tener en la agricultura como industria y forma de vida, será muy significativo.

Este análisis es sólo una investigación preliminar de un problema agrícola importante que merece adecuada y cuidadosa atención y estudios más abarcadores antes de que la crisis energética se haga más crítica.

BIBLIOGRAFIA

1. National Academy of Sciences, Rapid Population Growth, 1-11 (Johns Hopkins Press, Baltimore, 1971).
2. President's Science Advisory Committee, Report of the Panel on the World Food Supply, 1-111 (The White House, Washington, D.C., 1967).
3. A.L. Hammond, *Science* 177, 875 (1972).
4. P.H. Abelson, *ibid.* 178,355 (1972).
5. U.S. Department of Agriculture, Misc. Publ. No. 1063 (1972).
6. „ „, *Stat. Bull.* No. 233 (1972).
7. T.L. Smith, *International Labour Review* 102, 149 (1970).
8. L. Rocks and R.P. Runyon. *The Energy Crisis* (Crown, New York, 1972), pp.12 and 131.
9. G.V. Day, *Lectures* 4, 331 (1972).
10. M. Slessor, Report to Program on Policies for Science and Technology in Developing Nations (Univ. of Strathclyde, Glasgow, 1972).
11. E. Cook, *Sci. Amer.* 225, 135 (1971).
12. J. Darmstadter, P.D. Teitelbaum, J.G. Polach, *Energy in the World Economy* (John Hopkins Press, Baltimore, 1971).
13. P.E. Glaser, *Science* 162, 857 (1968).
14. K.L. Robinson, personal communication.
15. Food and Agriculture Organization of the United Nations, *Production Yearbook* 25, 35 (1972).
16. „ „, *Montly Bull. Agr. Econ. Stat.* No. 20 (1971).
17. G.V. Griliches, *Econometrica* 25, 501 (1957).
18. R.W. Allard, *Principles of Plant Breeding* (Wiley, New York, 1969), p. 265.
19. S.R. Aldrich and E.R. Leng, "Modern corn production," *Farm Quarterly* (1966), p. 296 and figure 150.
20. C. Grogan, personal communication.
21. H.L. Everett, personal communication.
22. U.S. Department of Agriculture, *Stat. Bull.* No. 344 (1964).
23. U.S. Department of Commerce, *Survey of Current Business* 52, table 10 (1972).

24. Committee on Agriculture, House of Representatives (92nd Congress, 1971), p. 20.
25. U.S. Department of Agriculture, Changes in Farm Production and Efficiency (Agricultural Research Service, Washington, D.C., 1954).
26. , , Fertilizer Situation (Economics Research Service, FS-1, 1971).
27. " , , , The Pesticide Review 1970 (Agricultural Stabilization and Conservation Service, Washington, D.C., 1971).
28. , , " , Agricultural Economics Report No. 179 (Economics Research Service, 1970).
29. E.N. Transeau, Ohio J. Sci. 26, 1 (1926).
30. P. Handler, Biology and the Future of Man (Oxford Univ. Press, New York, 1970), p. 462; H.T. Odum, Environment, Power, and Society (Wiley, New York, 1971), p. 115; R.A. Rappaport, Sci. Amer. 225, 117 (1971); G. Borgstrom, Hungry Planet (Macmillan, New York, 1972), p. 513; K.E.F. Watt, Principles of Environmental Science (McGraw-Hill, New York, 1973), p. 216.
31. D. Pimentel, H. Mooney, L. Stickel, Panel Report for Environmental Protection Agency, in preparation.
32. W.H. Johnson and B.J. Lamp, Principles, Equipment, and Systems for Corn Harvesting (Agricultural Consulting Associates, Inc., Wooster, 1966), p. 95.
33. F.B. Morrison, Feeds and Feeding (Morrison, Ithaca, N.Y., 1946), pp. 50 and 429.
34. E.J. Benne C.R. Hogle, E.D. Longnecker, R.L. Cook, Mich. Agr. Exp. Sta. Cir. Bull. No. 231 (1961); R.S. Dyal, National Symposium on Poultry Industry Waste Management (Nebraska Center for Continuing Education, Lincoln, 1963); R.C. Lehr and M. Asce, J. San. Eng. Division 2 (1969), p.189; L.W. McHachron, P.J. Zwerman, C.D. Kearn, R.B. Musgrave, Animal Waste Management (College of Agriculture, Cornell University, Ithaca, N.Y., (1969), pp. 393-400; T.C. Surbrach, C.C. Sheppard, J.S. Boyd, H.C. Zindel, C.J. Flegal, Proc. Int. Symp. Livestock Wastes (American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Mo., 1971), p. 193.
35. N.B. Andrews, The Response of Crops and Soils to Fertilizers and Manures (Mississippi State University, State College, ed. 2, 1954); R.I. Cook, Soil Management for Conservation and Production (Wiley, New York, 1962), pp. 46-61; S.L. Tisdale and W.L. Nelson, Soil Fertility and Fertilizers (Macmillan, New York, 1966).
36. R.E. Linton, Cornell Ext. Bull. No. 1195 (1968).
37. J.R. Miner, Iowa Agr. Exp. Sta. Spec. Rep. No. 67 (1971).
38. U.S. Department of Agriculture, Crop Production (Crop Report Board, Washington, D.C., 1970).
39. President's Science Advisory Committee, Report of the Environmental Pollution Panel (White House, Washington, D.C., 1965), p. 172.
40. C.J. Willard, Ohio Agr. Exp. Sta. Bull. No. 405 (1927).
41. H.D. Tate and O.S. Bare, Nebr. Agr. Exp. Sta. Bull. No. 381 (1946); pp. 1-12; R.E. Hill, E. Hixon, M.H. Muma, J. Econ. Entomol. 41, 392 (1948); C.L.

- Metcalf, W.P. Flint, R.L. Metcalf, *Destructive and Useful Insects* (McGraw-Hill, New York, (1962), p. 510; E.E. Ortman and P.J. Fitzgerald, *Proc. Ann. Hybrid Corn. Ind. Res. Conf.* 19, 38 (1964); R.E. Robinson, *Agron. J.* 58, 475 (1966).
42. L.C. Pearson, *Principles of Agronomy* (Reinhold, New York, 1967), pp. 73-84.
 43. National Academy of Sciences, *Principles of Plant and Animal Pest Control* 11, Publication 1597 (National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1963), pp. 256-257.
 44. H.B. Sprague, *N.J. Agr. Exp. Sta. Bull.* 669, 1 (1936).
 45. R.D. Munson and J.P. Doll, *Advan. Agr.* 11, 133 (1959).
 46. J.S. Drew and R.N. Van Arsdall, III, *Agr. Econ.* 6, 25 (1969); D. L. Armstrong, J.K. Leasure, M.R. Corbin, *Weed Sci.* 16, 369 (1968); F.W. Stife, personal communication.
 47. R.J. Detroit and H.L. Ahlgren, *Crop Production* (Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1953), pp. 572-573; P.W. Michael, *Herbage Abst.* 39, 59 (1969).
 48. G.F. Sprague, *Corn and Corn Improvement* (Academic Press, New York, 1955), pp. 643 and 663.
 49. National Academy of Science, *National Research Council Publication No. 1232* (National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1964), pp. 77-89; *ibid.*, No. 1684 (1969), pp. 38-45.
 50. D.D. Harpstead, *Sci. Amer.* 225, 34 (1971).
 51. U.S. Department of Agriculture, *Agr. Econ. Rep. No.* 117 (1968).
 52. H. Jiler, *Commodity Yearbook* (Commodity Research Bureau, Inc., New York, 1972), pp. 252-253.
 53. National Academy of Sciences, *Resources and Man* (Freeman, San Francisco, 1969), p. 143.
 54. G. Borgstrom, *Principles of Food Science* (Macmillan, New York, 1968), vol. 2, p. 376.
 55. U.S. Department of Agriculture, *Agricultural Statistics 1970* (Government Printing Office, Washington, D.C., 1970), pp. 29 and 430.
 56. , *Fats and Oils Situation* (Economics Research Service, FOS-257, Washington, D.C., 1971).
 57. G.R. Conway, *Environment, Resources, Pollution, and Society* (Sinerrer Associates, Inc., Stanford, 1971), pp. 302-325; S. Pradhan, *World Sci. New* 8, 41 (1971).
 58. J.N. Black, *Ann. Appl. Biol.* 67, 272 (1971).
 59. U.S. Department of Agriculture, *Agricultural Statistics 1967* (Government Printing Office, Washington, D.C., 1967), pp. 34-35.
 60. , *Crop Production, 1971 Annual Summary* (State Report Service, 1972).
 61. , , *Agr. Res. Serv. Stat. Bull. No.* 216 (1957).
 62. , , *Stat. Rep. Serv. Bull. No.* 408 (1967).
 63. R.S. Berry and M.F. Fels, *The Production and Consumption of Automobiles, An*

- Energy Analysis of the Manufacture, Discard and Reuse of the Automobile and its Component Materials (Univ. of Chicago, Chicago, 1973).
64. U.S. Department of Agriculture, Bur. Agron. Econ. Bull. No. FM 101 (1953).
 65. U.S. Bureau of the Census, Statistical Abstract of the U.S., 93rd Edition, (Government Printing Office, Washington, D.C., 1972), pp. 600-661.
 66. H.F. DeGraff and W.E. Washbon, Agr. Econ. No. 449 (1943).
 67. U.S. Bureau of the Census, Census of Agriculture 1964 11 (1968), pp. 909-955.
 68. E.O. Heady, I. C. Madsen, K.J. Nicol., S.H. Hargrove, Report of the Center for Agriculture and Rural Development, prepared at Iowa State University, for the National Water Commission (NTIS, Springfield, Va., 1972).
 69. A.W. Epp, Nebr. Exp. Sta. Bull. No. 426 (1954).
 70. T.S. Thorfinnson, M. Hunt, A.W. Epp, Nebr. Exp. Sta. Bull. No. 432 (1955)
 71. Corn Grower's Guide (W.R. Grace and Co., Aurora, Ill., 1968), p. 113.
 72. U.S. Bureau of the Census, Statistical Abstract for the United States, 92nd Edition (Government Printing Office, Washington, D.C., 1971), p. 496.
 73. , Statistical Abstract of the United States, 86th Edition (Government Printing Office, Washington, D.C., 1967), p. 538.
 74. U.S. Department of Commerce, Census of Transportation, III3, (Government Printing Office, Washington, D.C., 1967), pp.102-105.
 75. Interstate Commerce Commission, Freight Commodity Statistics, Class I Motor Carriers of Property in Intercity (Government Printing Office, Washington, D.C., 1968), p. 97; , Freight and Commodity Statistics Class I Railroads (Government Printing Office, Washington, D.C., 1968); , Transportation Statistics I, V, VII (Government Printing Office, Washington, D.C., 1968).
 76. U.S. Department of Transportation, Highway Statistics (Government Printing Office, Washington, D.C., 1970), p. 5.
 77. Handbook of Chemistry and Physics (Chemical Rubber Company, Cleveland, 1972), Table D-230.
 78. A.J. Payne and J.A. Canner, Chem. Process Eng. 50, 81 (1969).
 79. G. Leach and M. Slessor, Energy Equivalents of Network Inputs to Food Producing Processes (Univ. of Strathclyde, Glasgow, 1973).
 80. Los autores agradecen a los siguientes especialistas sus sugerencias y ayuda en la preparación de este artículo: George Borgstrom, Department of Food Science and Geography, Michigan State University; Harrison Brown, Foreign Secretary, National Academy of Sciences; Gordon Harrison, Ford Foundation; Gerald Leach, Science Policy Research Unit, University of Sussex; Roger Revelle, Center for Population Studies, Harvard University; Malcolm Slessor, Department of Pure and Applied Chemistry, University of Strathclyde; and, at Cornell University; R.C. Loehr, Department of Agric. Engineering; W.R. Lynn and C.A. Shoemaker, Department of Environmental Engineering; K.L. Robinson, Department of Agricultural Economics; C.O. Grogan, Department of Plant Breeding; R.S. Morison, Program of Science, Technology and Society; N.C. Brady and W.K. Kennedy, Department of Agronomy; and L.C. Cole and S.A. Levin, Section of Ecology and Systematics. Any errors or omissions are the author's responsibility.

This study was supported in part by grants from the Ford Foundation and NSF (GZ 1371 and GH 19239).

Cualquier error u omisión es responsabilidad de los autores. Este estudio fue financiado en parte con los donativos de la Fundación Ford y la "National Science Foundation" números GZ-1371 y GH-19239 respectivamente.