

CONSIDERACIONES ACERCA DE LA PRODUCCION MUNDIAL DE ALIMENTOS VEGETALES
(Disertación con motivo de su nombramiento como Académico de Número de la Academia Nacional de
Agronomía y Veterinaria, del Ing. Agr. Enrique M. Sivori, en 1975)

EL PROBLEMA DE LA ALIMENTACION HUMANA.

Enrique Modesto Sivori.

Un tema actual y candente que preocupa a los estadistas, técnicos, científicos y a la población en general, es el referente a la producción mundial de alimentos, según el número de habitantes de la tierra. Tal estado de agitación, induce a emitir opiniones dispares, donde intervienen intereses encontrados que rebasan el problema, para abarcar cuestiones de índole económica y política.

Para tener una perspectiva adecuada y comprender las bases causales de la situación, es necesario realizar un análisis no emocional, discriminando entre los factores que hacen a la producción en escala mundial, deslindando en primer lugar y en la medida de lo posible, aquellos que corresponden a las condiciones biológicas, naturales y técnicas.

Estas consideraciones tienen por objeto entonces, estimar si los factores biológicos, naturales y técnicos juegan y jugarán en un futuro inmediato y mediano un papel importante en el problema que se desarrolla en escala global.

En la actualidad y por largo tiempo la producción de alimentos es y será un proceso biológico, por esta razón debemos tratarlo como tal. Un proceso biológico está en gran medida regido por la ley del minimum, establecida por Liebig (1840) sólo para los nutrientes minerales pero luego extendida al resto de los componentes del medio que hacen al proceso (Blackman, 1905). Esta ley indica que el desarrollo de un sistema vivo está condicionado por el factor imprescindible que se encuentra en menor disponibilidad, con relación a los requerimientos del sistema.

Es necesario puntualizar que podemos considerar las limitaciones a diversos niveles. En un extremo muy restringido se encuentran aquellos inherentes a una región, por ejemplo a una zona de la región de la pampa seca. En otro extremo, a nivel global, se encuentran los factores que afectan la producción de la tierra. Las influencias son numerosas y para facilitar su análisis podemos reunir las en grupos de factores, sin hacer por ahora ninguna exclusión. Estos grupos de factores son los siguientes: 1) sistemas biológicos, 2) factores ecológicos, 3) extensión de las áreas productoras, 4) técnicas y energía empleadas y 5) factores de política económica.

En realidad ninguno de ellos actúa en forma aislada, sino en estrecha relación. Por ejemplo, los sistemas biológicos (especies y cultivares) son el resultado de largos trabajos de cría basados en procedimientos especiales y con costos que se suman a los de la producción con el valor de la semilla. De igual forma no se puede citar ninguno de los factores sin que tenga efectos sobre los otros. No obstante y de acuerdo a nuestros fines, es conveniente realizar la agrupación que hemos mencionado. De este modo se analizan con ciertos detalles los primeros factores: sistemas biológicos, factores ecológicos, extensión de las áreas productoras, para luego relacionarlos con los restantes.

Sistemas biológicos

Como hemos expresado se refieren a las especies y cultivares, por ejemplo híbridos del maíz, cultivares de papa, etc., o bien a combinación vegetal (forraje) con animal. Debemos puntualizar que el proceso comienza con la fotosíntesis (producción primaria), para luego convertir sus productos en alimento. Los sustratos son el CO₂ y el agua, los cuales, en el cloroplasto y con la incorporación de la luz, dan lugar a compuestos orgánicos. Es indispensable una intensa fotosíntesis para poder obtener una alta producción. Los mecanismos de este proceso son conocidos en parte y se manejan eficientemente para obtener cultivares de alto rendimiento.

Los fines perseguidos en la conformación de los cultivares dependen de numerosas circunstancias pero varían desde la obtención de formas biológicas resistentes a las condiciones adversas, en cierta medida

en detrimento del rendimiento, hasta la obtención de cultivares muy productivos, pero que requieren condiciones especiales del medio para que desarrollen dicha potencialidad.

Si las características de la región o el desarrollo técnico industrial del país permiten aplicar una alta tecnología del cultivo, se opta por los biotipos de alta productividad, ya que las condiciones requeridas para la seguridad del cultivo, la suministra el hombre. En este principio se basa el proceso denominado "revolución verde" que, no obstante, plantea cuestiones de índole económica.

Un biotipo de alto rendimiento debe poseer las siguientes condiciones: alta fijación de energía; eficiente conversión de los productos de la fotosíntesis en alimento; respuesta al suministro de nutrientes; crecimiento a temperaturas relativamente bajas y resistencia a las heladas; alto contenido proteico; alto rendimiento hídrico (producto acumulado por agua consumida) y respuesta positiva al riego; formas bajas con poco follaje "parásito" y resistencia al vuelco. Un sistema biológico de estas características a la vez requiere: fertilización, irrigación, control de insectos, hongos y otras pestes; control de la maleza; suelo aireado; manejo hormonal por la aplicación de reguladores. Todo ello se realiza con una intensa mecanización y un gran consumo de energía.

Como consecuencia de los trabajos de creación de cultivares, sobre las bases mencionadas, se han obtenido plantas de alta potencialidad productiva que pueden desarrollar en todas las circunstancias. Citaremos lo que ocurre en la Argentina; los cultivares de arroz producidos en el Instituto del Arroz de la Facultad de Agronomía de la UNLP, tienen la capacidad de rendir más de 120 quintales (12.000 kg) por ha, (lo que se obtiene en condiciones experimentales), pero bajo cultivos comerciales, los rendimientos oscilan entre 4000 y 5000 kg, es decir son inferiores en un 60% a sus posibilidades. El promedio mundial es del orden de 20 quintales. Relaciones semejantes se observan en otras especies. Con trigo, en Europa (Italia, Holanda y otros países), se obtienen rendimientos superiores a los 40 quintales, pero el promedio del mundo oscila alrededor de 13 quintales, semejantes a los de Argentina. La papa, bajo condiciones eficaces de cultivo, supera los 300 quintales, pero el promedio mundial oscila en los 120 quintales. Una relación semejante se encuentra en casi todas las especies de cultivo.

En la producción de proteínas, sobre la base del sistema planta-animal, las transferencias energéticas son mayores. Siempre a partir de la fotosíntesis, le sigue la conversión de sus productos en forrajes, y luego en carne y grasa. Las pérdidas son más elevadas y las posibilidades de obtener altos rendimientos disminuyen. Desde el punto de vista de relación entre las calorías luminosas incidentes y las acumuladas como productos, el rendimiento es mucho mayor en los sistemas vegetales. En numerosas circunstancias, la transformación de la energía no en carne sino en grasa, representa un desperdicio de calorías que posiblemente se realiza para solucionar problemas económicos.

Considerando todo ello desde un punto de vista general, podemos concluir que la producción de alimentos se ubica a niveles muy inferiores a los que los sistemas biológicos permiten. Por otra parte las posibilidades de hacerlos más eficientes son ilimitadas, lo cual indudablemente irá ocurriendo en la medida que las investigaciones aclaren los mecanismos genéticos, bioquímicos, fisiológicos y ecológicos, que regulan la síntesis y degradación metabólica, el crecimiento, desarrollo, etc.

Factores ecológicos

El otro grupo de factores a considerar es aquel correspondiente al medio. Comprende los que actúan en forma positiva suministrando los elementos requeridos y un ambiente favorable, o bien en forma negativa, por deficiencia o exceso de los mismos o por medio de un ambiente desfavorable. Los componentes que influyen más directamente y con una escala global son la luz, el CO₂, el agua, las temperaturas, y aquellas de orden entomológico y fúngico.

La luz, como es conocido, es incorporada dentro del rango del espectro visible (radiación fotosintéticamente activa), entre los 400 y 700 nm. Sobre la tierra inciden aproximadamente un promedio de 2 cal cm⁻² min⁻¹ de la cual se filtra a través de la atmósfera algo más del 65 %, lo que reduce la que llega al estrato vegetal, natural o cultivado, a un flujo de 1,30 Kcal cm⁻² año⁻¹. Ello implica, para un clima templado, un valor de 3.500 Kcal m⁻² año⁻¹. De esta radiación los cultivos más rendidores excepcionalmente superan el 5 % de utilización, siendo los valores medios muy inferiores al 3 %. La energía incorporada solo se aprovecha

en parte, perdiéndose el resto como calor sensible o como calor latente (Montheith, 1963). Es evidente que en escala global, el flujo lumínico supera numerosas veces la capacidad fijadora de las plantas por lo cual no actúa como limitante de la producción.

El carbono se encuentra como orgánico "vivo", como orgánico "muerto" (detritus, mantillo, humus, etc.); como CO_2 de la atmósfera y disuelto en las aguas como carbonato y bicarbonato. También en la tierra y en las aguas, especialmente como carbonato de Ca y Mg y como carbono fósil (carbón de piedra y petróleo), en la tierra y en los fondos de las plataformas marinas. Entre todos estos reservorios se produce un intercambio activo, en parte conformando un ciclo.

Se ha estimado (Bolin B, 1970) que, como materia viva, cuyo volumen se encuentra prácticamente en un estado cuasi estable, alcanza a 460×10^9 ton. (calculado como carbono, igual que en el resto de los valores). En la atmósfera se presenta en 700×10^9 y disuelto en los océanos a 500×10^9 ton., más 34.500×10^9 ton. acumulado en las profundidades. De la misma manera que se produce un intercambio entre el CO_2 atmosférico y el disuelto en la superficie de las aguas, ocurre entre éste y el de las profundidades. Como materia orgánica muerta en la tierra y en los mares, existen 3.700×10^9 ton., que también integran el ciclo del carbono por la muerte y degradación de animales y vegetales. El carbono fósil llega a 10.000×10^9 ton., que se integra en cantidades crecientes debido a la actividad humana. A todo ello hay que agregar $20.000.000 \times 10^9$ ton de carbono, sedimentado en el fondo del océano que se mantiene fuera del ciclo.

El carbono de todas las reservas orgánicas e inorgánicas que entran directamente en el ciclo asciende a 48.900×10^9 , o sea del orden de 100 veces al correspondiente a la materia viva. Ello implica que cantidades importantes de esos depósitos podrían ser convertidos en materia viva o en sus reservas (alimentos), sin que cambie sensiblemente el equilibrio que existe. En consecuencia, dado estos recursos prácticamente inagotables, el carbono no es limitante de la producción de alimentos, por lo menos en su aspecto cuantitativo.

No obstante, los resultados de ensayos realizados con varias especies han demostrado que al aumentar ligeramente su concentración se obtiene un consecuente aumento de la fotosíntesis, lo cual indica que en determinadas circunstancias puede actuar como limitante. Con una elevación demasiado grande de su nivel, el CO_2 actúa como inhibidor ya que produce el cierre de los ostiolas. Este comportamiento puede interpretarse como que el bajo contenido de CO_2 atmosférico, del orden de 300 ppm, determina un bajo gradiente entre la atmósfera y la región de los cloroplastos y consecuentemente una lenta difusión hacia el interior celular. Debe puntualizarse que la incorporación de CO_2 , de la cual también depende el gradiente, está determinada por los sistemas de fijación, sea el ciclo de Calvin o el de "cuatro carbonos" y por la actividad respiratoria mitocondrial y de la fotorespiración. La fijación neta mayor se produce cuando se combinan la falta o una pobre fotorespiración con el sistema de fijación de cuatro carbonos, lo cual ocurre en las especies de alta producción y rápido crecimiento.

Conviene también recordar que grandes extensiones continentales aisladas de los cultivos y aun dentro de los cultivos, están cubiertas por selvas, bosques, praderas y maleza, que suelen desarrollar una alta actividad fotosintética, estableciéndose así una competencia con las plantas domésticas. Por otra parte la concentración de CO_2 va aumentando paulatinamente a partir del carbono fósil (petróleo), utilizado por la actividad humana, lo que indudablemente elevará el gradiente.

Por todo ello debe considerarse que tomando el problema en su magnitud global, no existen perspectivas de que el CO_2 sea limitante de la producción de alimentos sino todo lo contrario, se mejorará la capacidad de las especies útiles para asimilarlo por una parte y aumentará paulatinamente su concentración. Las reservas mencionadas hacen a este proceso muy probable.

Otro de los factores del medio de importancia fundamental es la disponibilidad de agua, proveniente en forma directa de las lluvias o indirectamente a través del riego. En conjunto con las temperaturas, representan las condiciones que determinan límites de las áreas continentales de cultivo, por lo cual se las considerará cuando se traten las superficies productivas.

La deficiencia de agua disminuye la actividad fotosintética como así también el resto del metabolismo no fotosintético que hace a la producción y es con frecuencia un factor limitante. Por ejemplo, en ensayos realizados en Tucumán en los años 1971 y 1972, el rendimiento de la papa llegó a triplicarse por medio de

riegos (Aso P, *et. al.*, 1973). También incrementos significativos se obtuvieron con maíz en la pampa húmeda (Soriano A, *et al*, 1969).

En regiones que suelen ser de importancia productiva, se producen sequías que inciden sobre la producción de alimentos en escala mundial. Por ejemplo acabamos de salir de una sequía que afectó diversos países africanos y se extendió por el cercano oriente hasta el sur de la U.R.S.S., no obstante ello, se calcula que la producción de alimentos considerada globalmente solo descendió un 4 %.

Las temperaturas, en particular las bajas temperaturas son, de acuerdo a lo mencionado el otro factor que restringe las áreas bajo explotación y afecta también la producción en el tiempo, de acuerdo a las estaciones. Las plantas en los trópicos crecen durante los doce meses del año si se dan las restantes condiciones meteorológicas necesarias para ello. En cambio, en Tierra del Fuego por ejemplo, el crecimiento se reduce a un periodo del orden de los tres meses, los únicos libres de heladas. En latitudes más altas se presentan los denominados desiertos de hielo.

Son indispensables seis elementos minerales esenciales que las plantas los requieren en cantidades apreciables, denominados macronutrientes: el N, P, S, K, Mg y Ca. Necesitan también los micronutrientes, igualmente esenciales pero requeridos en cantidades mínimas; son el Cu, Co, Fe, Mn, Zn, Bo, Mo y Cl. Es habitual que ciertos nutrientes se encuentran en cantidades limitantes como ocurre habitualmente con el N, el P y el K.

El nitrógeno es volátil y se recicla parcialmente. Las formas que se reciclan se encuentran en la atmósfera como molecular (N_2), en la tierra y en las aguas, como sales diversas o bien en forma de N orgánico "vivo" y "no vivo", constituyendo la biomasa y los detritus respectivamente.

Salvo los casos que mencionaremos, el nitrógeno molecular no es asimilado directamente por los seres vivos, que generalmente lo obtienen en forma de sales de amonio, nitrito y nitrato, y en pequeñas cantidades como orgánico de bajo peso molecular (aminoácidos).

El nitrógeno orgánico que se encuentra en estado de detritus, es convertido a sales de amonio y luego oxidado a nitrito y nitrato por la actividad bacteriana, para ser así incorporado a las plantas. Una vez convertido en forma orgánica es transferido en parte a los heterótrofos (animales, vegetales inferiores, etc.), para reiniciar el ciclo nuevamente.

Parte del nitrógeno que comprende este ciclo se pierde hacia la atmósfera por el proceso de desnitrificación bacteriana, que ocurre en las aguas y en la tierra. Parte del nitrógeno gaseoso es fijado también biológicamente por medio de microorganismos autótrofos, saprófitos y simbióticos (*Nostoc*, *Clostridium*, *Rhizobium*, etc.) que lo fijan como orgánico, reincorporándolos al ciclo.

Considerando sólo el nitrógeno del ciclo, lo encontramos entonces en los suelos y las aguas, sea molecular o como sales y en la atmósfera como molecular; a ellos se suma todo el orgánico correspondiente a la biomasa o a las detritus, en la tierra y en las aguas. Entre todos se produce un intercambio activo, en el que interviene cada vez en mayor medida el hombre por medio de la fijación industrial del nitrógeno atmosférico. A esta forma se la puede considerar el reservorio general, donde se encuentra en la proporción del orden del 79 %, prácticamente inagotable como fuente de la biomasa, con un volumen del orden de $3.822.000 \times 10^9 \text{ m}^3$. Todo el nitrógeno que constituye la biomasa es de $13 \times 10^9 \text{ m}^3$ o sea que la relación del nitrógeno "vivo" al "no vivo" reciclable, es aproximadamente de 1:300.000. Aunque la biomasa (sin contar el hombre) con sus reservas que constituyen los alimentos, se multiplicara varias veces no influiría mayormente en tal disponibilidad ni llegaría a ser limitativo.

Con una utilización racional de los suelos, del manejo de las explotaciones, de la utilización de abonos verdes, etc. y sobre todo de la fijación industrial del nitrógeno atmosférico, cualquiera hayan sido los siglos de trabajo de la tierra, estos pueden mantenerse en productividad, como esta ocurriendo en varias partes del mundo.

Además del nitrógeno suelen encontrarse a niveles limitantes de la bioproducción el P y el K, tanto terrestre como oceánico. El K no es un elemento volátil ni se recicla; no se lo encuentra, como el carbono y el nitrógeno en la atmósfera, sino exclusivamente en la tierra y en las aguas; su movimiento masivo es un constante escurrir hacia los mares.

En los suelos se lo halla a niveles del orden de 500 Kg por ha y su relación con el de las biomásas es aproximadamente de 1:30. Se incorpora para abono, obteniéndose de numerosos depósitos situados en varios países.

Se ha calculado que sólo Canadá puede abastecer las necesidades mundiales durante un siglo. No se lo considera potencialmente limitativo a escala mundial, no obstante para un futuro lejano podría extraerse de los mares donde se encuentra en la concentración de $1,8 \times 10^6$ toneladas por milla³, que hacen un total de $0,6 \times 10^{15}$ ton., como así también de los "nódulos de manganeso" de los lechos marinos, a la concentración promedio de 0,7-0,8 % sobre la base de peso seco (Mero J.,1964).

El P tampoco es volátil, por lo que sus reservas solo se las encuentra en las aguas y en la tierra. Se recicla en pequeña proporción según el siguiente camino: tierra, agua, peces, aves marinas, guano, abono, tierra. Es soluble solo en medio ácido o reductor, encontrándose como sales de Fe o Ca. Su desplazamiento general también es un fluir hacia los océanos, donde precipita constituyendo grandes depósitos en sus fondos. Con el desarrollo de las técnicas de explotación de los lechos marinos podrá reciclarse en forma continua. Existen rocas de fosfato (hiperfosfato $\$$) en diversas partes del mundo. La República Argentina ha comenzado a utilizarlo en escala creciente y lo importa del norte de África. Se lo encuentra también en los lechos marinos como ocurre en las costas de California, en forma de fosforita (fosfato de calcio), posiblemente en concentraciones extraíbles. En las aguas se lo encuentra a niveles inferiores al potasio porque precipita con facilidad, pero de cualquier manera llega a 330 toneladas por milla³, que hacen un total de 110×10^9 ton. Comparado con el resto de los macronutrientes, es el que se encuentra en relación menor respecto al nitrógeno. Si bien con el tiempo podrá llegar a ser potencialmente limitante ello no ocurrirá en el futuro previsible.

Se han mencionado someramente algunos factores fundamentales, reunidos en grupos, que hacen a la producción de alimentos y que podrían actuar como limitantes bajo las condiciones de crisis actual, sea que correspondan a los sistemas biológicos o a las condiciones ecológicas.

El resultado de estas consideraciones indica que si bien alguno de ellos se encuentran en deficiencia en determinadas regiones, se debe a que no se manejan adecuadamente los recursos del mundo, que los posee en volúmenes por ahora inagotables o bien como reservas duraderas durante largos periodos. Todo indica que no son potencialmente limitantes por largo tiempo, sea porque se encuentran en exceso de acuerdo a las necesidades o porque pueden ser suministrados según los requerimientos.

Extensión de las áreas productoras

Además de los sistemas productivos (vegetales y animales) y de condiciones ecológicas que conforman el medio, el otro grupo de factores relacionados con la productividad está dado por las superficies en producción. De acuerdo a lo expresado, dichas superficies están delimitadas fundamentalmente por la disponibilidad de agua y por las temperaturas.

Lo que se plantea es si la extensión de dichas áreas es suficiente para alimentar la población creciente y hasta cuanto podrán aumentarse sin que se produzcan deficiencias y deterioros insalvables que afecten a la humanidad. El aumento de área bajo cultivo se realiza por dos caminos, uno de ellos sobre áreas fácilmente adaptables por registrar lluvias y temperaturas adecuadas, como praderas, bosques, etc., donde no actúan los factores limitantes mencionados, la deficiencia de agua o las bajas temperaturas; el otro es sobre áreas desérticas o áridas recurriendo al riego a partir de ríos, corrientes subterráneas y en un futuro no lejano a la desalinización de las aguas de los mares y precipitaciones provocadas artificialmente.

Lieth (1972), consigna en la Tabla 1 las siguientes unidades de vegetación, la superficie que ocupa cada una, la productividad, la fijación de energía y otros datos. Solo reproducimos aquellos correspondientes a las subáreas, en forma sumariada, que consideramos de interés de acuerdo a los fines de este artículo.

Tabla 1. Fijación de energía y productividad primaria neta en el mundo

| Comunidad | Superficie mundial (x 10 ⁶ Km ²) | Prod. Primaria neta (x 10 ⁹ ton) | Fijación de energía (x 10 ⁶ cal . m ²) |
|----------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Total continental | 149 | 100,2 | 426,1 |
| Selvas y bosques húmedos | 50 | 64,5 | 277,0 |
| Bosques | 7 | 4,2 | 19,6 |
| Estepas arbustivas | 26 | 2,4 | 10,2 |
| Estepas gramíneas | 24 | 15 | 60,0 |
| Desiertos áridos y c/hielo | 24 | - | 0,1 |
| Cultivos | 14 | 9,1 | 37,8 |
| Espejos de agua dulce | 4 | 5,0 | 21,4 |
| Total oceánico | 361 | 55,0 | 260,8 |
| Total de la tierra | 510 | 155,2 | 686,9 |

Como puede observarse las áreas bajo cultivo no llegan al 10 % de la superficie total continental, quedando reservas con una capacidad potencial de producción relativamente alta. Si los cálculos se realizan sobre la base de la energía fijada, el valor baja al 6 % del total, lo cual se debe al alto poder fotosintético de ciertas regiones naturales.

El área bajo cultivo tiene además una productividad neta de 9×10^9 ton. Anuales, mientras que los desiertos, sin ninguna posibilidad actual de explotación, ocupan un 16 % del total.

Como ejemplo de lo que estos valores significan en la alimentación, solo elaboraremos aquellos correspondientes a la productividad primaria neta de los cultivos y de las praderas gramíneas. En todos los casos se tomarán cifras enteras.

Las 9.0×10^9 toneladas de productividad primaria neta, pueden reducirse a un 25 %, estimando pérdidas de diversa índole, con objeto de basar los cálculos en sus niveles inferiores, lo que hacen $2,25 \times 10^{12}$ calorías anuales.

Calculando como promedio un consumo de 2500 cal. por persona o sea algo menos de un millón anual, se pueden alimentar 10.125 millones de personas durante un año (actualmente existen en el mundo aproximadamente 3.800 millones), es decir que solo a partir de la energía de la tierra bajo cultivo, se podrían alimentar más de dos veces los habitantes actuales de la tierra. Si los cálculos se basan adjudicando un rendimiento agrícola promedio, por ejemplo 20 quintales por ha, las calorías alcanzan para alimentar 15000 millones, y si se basan en la fijación de energía ($37,8 \times 10^{18}$ cal, en el área cultivada) el número de personas aumenta.

De White estudia la relación entre fotosíntesis y la "sobrepoblación" (San Pietro A., *et al*, 1967). Entre otros datos expone un cuadro del que se reproducen algunos valores (Tabla 2).

Tabla 2

| Ubicación geográfica | Personas alimentadas . ha ⁻¹ . año ⁻¹ | Superficie necesaria por persona (m ²) |
|----------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 60° Latitud Norte | 21 | 469 |
| 40° Latitud Norte | 90 | 110 |
| 20° Latitud Norte | 124 | 81 |
| 0° Latitud | 116 | 86 |

Por otra parte calcula que cada persona necesita para vivir un espacio de 750 m², es decir, las superficies para las necesidades no alimenticias (mercados, calles, habitaciones, etc.) son muy superiores a las requeridas para producir los alimentos que consumen en un año. Es evidente que la superficie de tierras con capacidad productiva esta aún lejos de ser limitante. A todo ello debemos agregar la producción de selvas, los bosques, las estepas, los océanos y las aguas dulces.