

# *Producción de Proteínas a partir del Petróleo*

Eovaldo Hernández \*

## RESUMEN

Con una población que alcanzará a unos 6.400 millones para el año 2.000, la búsqueda mundial de fuentes abundantes y económicas de proteína se hace urgente. La producción de proteína mediante el cultivo de microorganismos en un medio conteniendo hidrocarburos como única fuente de carbono está siendo usada en escala cada vez mayor. Los microorganismos son una excelente fuente de aminoácidos y vitaminas solubles en agua. Su cultivo en cantidades lo bastante grandes como para suplir una buena parte de los requerimientos proteicos del mundo sólo se puede hacer usando el petróleo como fuente de carbono. La tecnología del proceso es bien conocida y en este artículo se describe brevemente. Se concluye con un resumen de las plantas industriales dedicadas en la actualidad a la producción de proteína microbiana a partir de petróleo.

## ABSTRACT

With the world population reaching 6.400 millions by the year 2000, the search for economical sources of proteins is becoming urgent. Culture of microorganisms in a medium containing oil as only carbon source is being used extensively to produce protein. Microorganisms are excellent sources of ami-

---

\* Ph. D., Departamento de Química, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.

noacids and watersoluble vitamins. Their culture in a scale big enough to alleviate the scarcity of protein in the world can be done only using oil as carbon source. The technology is well known and is summarily described. A list of manufacturing plants working in this process is given.

## HAMBRE Y MALA NUTRICION

La actual población del mundo es de unos 3.500 millones de personas y para el año 2000 se predice una población de 6.400 millones<sup>4, 7</sup>. Muchos expertos consideran que el aumento en la producción de alimentos no va a estar a la par con este tremendo incremento de la población mundial. Según ellos, el fantasma de Malthus parece amenazar el mundo del futuro.

Entre los principales componentes del alimento (carbohidratos, grasas, proteínas, vitaminas y minerales), son las proteínas el componente que más escasea. Actualmente, la "brecha de proteínas" —la diferencia entre la producción y las necesidades de proteína del mundo— se estima en unos 2,5 millones de toneladas de proteína animal por año y se predice que aumentará a más de 3,5 millones de toneladas anuales para 1980<sup>4</sup>.

El problema de la escasez de alimentos no significa únicamente hambre. Junto a grupos humanos que carecen de alimentos, que padecen hambre, existen otros grupos que, aún satisfaciendo sus requerimientos calóricos mínimos, manifiestan una serie de enfermedades debido a la carencia de algún componente esencial en su dieta; es decir, su alimentación no está balanceada. Todos conocemos ejemplos trágicos y recientes de hambre y de mala nutrición en países africanos y asiáticos. La enfermedad conocida como "kwashiorkor" (niños azules), frecuente en algunos países africanos, es la consecuencia de una dieta deficiente en proteínas. En dicha enfermedad, los daños al cerebro, producidos en las etapas iniciales del desarrollo del ser humano, son irreversibles.

Si el hambre y la mala nutrición fueran a ser eliminadas para el año 1975, la producción mundial de proteínas tendría que aumentar por lo menos en un 45 por ciento<sup>4</sup>.

## SOLUCIONES AL PROBLEMA DEL HAMBRE

Existen actualmente varios procedimientos para aumentar los recursos alimenticios del mundo. Los que se sugieren con más frecuencia son los siguientes:

- 1.— Aumento del rendimiento de la agricultura.
- 2.— Utilización de alimentos disponibles, pero poco usados.
- 3.— Producción de nuevos alimentos.

Revisemos brevemente estas tres soluciones.

## **Aumento del rendimiento de la agricultura.**

Elevar el rendimiento de las tierras cultivadas es, básicamente, el objetivo de la agricultura moderna. Las plantas verdes no son más que un dispositivo para transformar la energía de las radiaciones electromagnéticas solares en energía química. En países de agricultura primitiva, como la India, la eficiencia de este proceso es del orden de 0,03 por ciento<sup>1</sup>. En países de agricultura avanzada llega a 0,3 - 0,4 por ciento<sup>1</sup>. El límite teórico es de 7-8 por ciento. Las ciencias agrícolas tienen por objeto aumentar la eficiencia del proceso fotosintético. Para ello se idean mejores sistemas de riegos y drenajes, se recurre a la fertilización, se hacen mejoras genéticas de semillas y plantas, se controlan las plagas con productos cada vez más efectivos (insecticidas, fungicidas, herbicidas), se mejoran las prácticas de manejo de los cultivos y hasta se emplean computadores. El ejemplo más dramático de los resultados que se pueden lograr con el uso combinado de todas estas técnicas lo constituyen el trigo enano mejicano y la variedad de arroz IR-8 filipina, que han causado la bien conocida "revolución verde".

Con todo, hay un límite a la producción agrícola, impuesto por la limitación del área de la tierra cultivable.

## **Utilización de alimentos poco usados.**

Esta segunda solución al problema del hambre y de la mala nutrición consiste en la utilización de recursos alimenticios disponibles, pero que son poco usados. Aquí se incluirían: 1) El cultivo de los océanos por técnicas nuevas, recurriendo a productos "poco usuales", tales como las algas y peces de desecho, que nunca han sido comercializados; 2) El cultivo de peces bajo condiciones de laboratorio en estuario, lagos, lagunas y ríos; 3) El uso de la proteína de pescado en la alimentación de animales (lo cual ya se viene haciendo) y de seres humanos.

Además de estas técnicas, que contribuirían a aliviar el problema de la escasez de alimento en todo el mundo, el cambio de hábitos culturales en algunas regiones del globo haría disponibles recursos alimenticios que son poco usados. Es bien conocido el caso de los hindúes, quienes por razones sociales y religiosas evitan comer cualquier forma de vida animal, incluyendo huevos, aunque sí usan la leche y sus derivados. En algunas partes de Africa, por el contrario, no ingieren leche, porque creen que produce esterilidad. En Nubia no utilizan el pescado y sus derivados, a pesar de que disponen de peces en abundancia. En Nigeria evitan comer caracoles, mientras que en Francia se considera un manjar. El hombre occidental no usa el perro como alimento, mientras que en el Japón es una fuente común de proteína. Los insectos son poco usados en el mundo occidental, aunque en otras partes del mundo los saltamontes, hormigas y termitas son alimentos usuales. Es indudable que mo-

dificando estas situaciones se aliviaría el problema del hambre en algunos lugares.

### **Producción de nuevos alimentos.**

La tercera solución al problema de la escasez de recursos alimenticios es la fabricación de alimentos nuevos. Aquí se incluye la producción de proteína unicelular a partir de petróleo, celulosa y almidón. La producción de proteína de hojas e incluso, para un futuro algo distante, la síntesis química completa de aminoácidos y polipéptidos.

Normalmente, las hojas de los vegetales no son utilizadas por el hombre como fuente de proteína, debido a su elevado contenido en celulosa, que las hace indigeribles para el ser humano. Las proteínas foliares tienen que ser trasladadas a otras partes de las plantas, tales como raíces, frutos o semillas, para poder servir de alimento humano. Las proteínas foliares se extraen por maceración de las hojas y precipitación, por procedimientos bioquímicos, de la proteína del "jugo" de hojas así preparado. El cultivo de células vegetales en fermentadores continuos es una fuente promisoría de proteína, ya que el producto es completamente comestible y no contiene celulosa ni hemicelulosa, como las hojas.

Se pueden obtener proteínas sintéticas cultivando hongos, por ejemplo: *Penicillium notatum*, en almidón de desechos de productos de panadería, papas, batatas, yuca u otros vegetales.

En Nueva Zelanda están desarrollando un proceso que imita las complejas reacciones químicas que tienen lugar en los rumiantes, con el objeto de producir proteína pura a partir de pastos y productos forestales. Esta proteína podría ser utilizada tanto en alimentos para animales, como en alimentos humanos.

Finalmente, se puede producir proteína cultivando microorganismos en medios sintéticos donde la única fuente de carbono sea petróleo o productos derivados del petróleo. A continuación discutiremos en detalle este proceso. Comenzaremos revisando el uso que el hombre ha hecho de los microorganismos, estudiaremos sus propiedades como alimento y los sustratos que pueden emplearse para cultivarse. Demostraremos que el petróleo es el mejor sustrato para producir proteína microbiana en cantidades que puedan contribuir a aliviar el hambre en el mundo, haremos una explicación del proceso, incluyendo costos de producción, y terminaremos presentando un panorama de la producción mundial actual de proteína de petróleo.

## DOMESTICACION DE LOS MICROORGANISMOS

A la producción de carbono orgánico a partir de dióxido de carbono, realizada enteramente por las plantas verdes, se opone en la naturaleza la oxidación o degradación del carbono orgánico a dióxido de carbono por la acción de animales y microorganismos (Fig. 1). El 90 por ciento de la oxidación de la materia orgánica la efectúan los microorganismos.

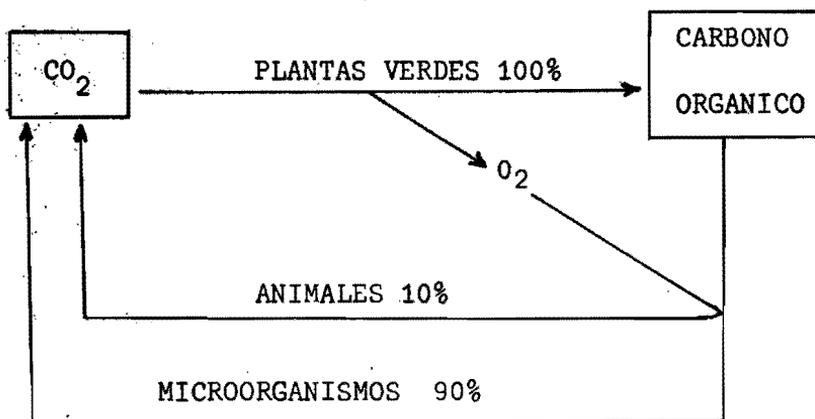


Fig. 1. Ciclo del carbono en la naturaleza.

El hombre primitivo se alimentaba de plantas y de animales silvestres. Hace unos 10.000 años comenzó la domesticación de las plantas y de los animales. Fue el comienzo de la agricultura y de la ganadería. Las plantas que el hombre cultivaba las usaba como alimento. Otras plantas, cultivadas o silvestres, las empleó para alimentar animales que le servían, a su vez, de alimento. Durante milenios el hombre ha utilizado únicamente el 10 por ciento de los organismos responsables de la oxidación del carbono orgánico como fuente de alimento, vestido y energía mecánica. El 90 por ciento restante, los microorganismos, fue casi completamente ignorado. En realidad, el hombre ni siquiera sabía de su existencia. Desde Antonio Van Leeuwenhoek hasta la microbiología del presente han transcurrido apenas algo más de cien años y ha sido durante los últimos 25 años que esta gran porción de los organismos oxidantes del carbono orgánico ha comenzado a ser domesticada inteligentemente. Hoy en día, los microorganismos son utilizados para producir compuestos químicos, tales como antibióticos, vitaminas, aminoácidos, ácidos orgánicos, alcohol. Sólo muy recientemente, desde 1960 aproximadamente, los microorganismos han empezado a ser utilizados como una fuente de alimento para animales.

## LOS MICROORGANISMOS COMO ALIMENTO

En la alimentación humana y animal han sido siempre las proteínas las más difíciles de suplir. Veamos si los microorganismos son una fuente adecuada de proteína para la alimentación de mamíferos. Para ello comparemos la composición de las células microbianas con la de otras fuentes de proteína. En la Tabla 1 se observa que la carne, que ha sido siempre la fuente de proteína animal preferida por el hombre, contiene dos veces más nitrógeno y aminoácidos esenciales que la harina de soya, la fuente de proteína vegetal de mayor uso en el mundo. Las bacterias y levaduras son similares en su composición a la harina de soya. El mayor contenido de nitrógeno en las bacterias que en las levaduras es debido a su contenido relativamente alto de ácidos nucleicos. Los hongos son inferiores a las bacterias y levaduras en cuanto a su contenido en nitrógeno y aminoácidos esenciales. Además, debido a los problemas reológicos que su micelio ocasiona, que hacen difícil la aireación, los hongos no son considerados como una fuente promisoría de proteínas. A pesar de ello, una compañía inglesa, la Rank Hovis McDougall, está instalando una planta de fermentación continua para cultivar un microhongo filamentoso en un medio con carbohidratos como fuente de carbono. Como la intención de esta compañía es la producción de alimentos de consumo humano, sin necesidad de pasar a través de la ruta indirecta de alimentar primeramente un animal con la fuente proteica y utilizar luego el animal como alimento humano, la estructura filamentosa del hongo, que para los efectos de aireación es un problema, es considerada una ventaja, ya que el procesamiento requerido para simular una fuente proteica de consumo humano es mínimo.

TABLA 1.— Composición de algunas fuentes de proteínas

|                | Nitrógeno<br>% | Aminoácidos<br>esenciales *<br>% de la proteína | Relación<br>aminoácidos/N |
|----------------|----------------|---|---------------------------|
| Bacterias      | 11             | 26  | 2,4                       |
| Levaduras      | 8              | 28  | 3,5                       |
| Hongos         | 6              | 11  | 1,8                       |
| Harina de soya | 8              | 22  | 2,8                       |
| Carne          | 15             | 48  | 3,2                       |

\* Histidina, arginina, lisina, leucina, isoleucina, valina, metionina, treonina, fenilalanina.

Es interesante comparar el contenido en algunos aminoácidos esenciales de algunas fuentes proteicas usadas en la fabricación de alimentos concentrados para animales, con el de levaduras cultivadas en petróleo (Tabla 2).

Puede observarse que las levaduras se comparan favorablemente con las harinas de pescado, soya y ajonjolí.

TABLA 2.— Contenido de algunos aminoácidos en varias fuentes de proteína

|            | Harina de pescado | Harina de soya   | Harina de ajonjolí | Levaduras n-parafinas Japón * | Levaduras gas-oil BP** | Carne |
|------------|-------------------|------------------|--------------------|-------------------------------|------------------------|-------|
|            |                   | % de la Proteína |                    |                               |                        |       |
| Arginina   | 3,38              | 3,75             | 4,85               | 4,53                          | 5,00                   |       |
| Lisina     | 5,00              | 3,16             | 1,35               | 7,52                          | 7,8                    | 10,0  |
| Metionina  | 1,90              | 0,73             | 1,42               | 1,22                          | 1,6                    | 3,2   |
| Cistina    | 0,70              | 0,74             | 0,62               | 1,76                          | 0,9                    |       |
| Triptófano | 0,75              | 0,74             | 0,79               | 1,22                          | 1,3                    | 1,4   |

\* Referencia 7.

\*\* Referencia 2.

Además de su contenido en aminoácidos, los microorganismos son excelentes como fuente de vitaminas solubles en agua. En la Tabla 3 se compara la composición vitamínica de levaduras cultivadas en n-parafinas y gas-oil con la de una levadura comercial, que es la fuente corriente de vitaminas en los concentrados para animales.

TABLA 3.— Composición vitamínica de las levaduras BP\*

|                          | Grangemouth (Escocia) n-parafinas | Lavera (Francia) gas-oil | Levadura comercial |
|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------|
|                          |                                   | mg/Kg                    |                    |
| Tiamina                  | 3,4                               | 4,7                      | 3-5                |
| Riboflavina              | 117                               | 142                      | 20-90              |
| Piridoxina               | 9,5                               | 15                       | 15-60              |
| Vitamina B <sub>12</sub> | 0,05                              | 0,007                    | -                  |
| Acido nicotínico         | 400                               | 275                      | 190-500            |
| Pantotenato de Ca        | 160                               | 100                      | 100-190            |
| Acido fólico             | 5                                 | 4                        | 3-30               |
| Inositol                 | 3150                              | 780                      | 3000               |
| Cloruro de colina        | 7000                              | 1340                     | 2100               |

\* Referencia 6.

Como el principal uso de las levaduras producidas a partir de petróleo es la fabricación de alimentos para animales, en la Tabla 4 se presenta el aná-

lisis proximal de varias levaduras obtenidas por fermentación de hidrocarburos.

TABLA 4.— Análisis proximal de varias levaduras

|          | Japón *<br>n-parafinas | BP**<br>n-parafinas | BP**<br>gas-oil | Torula***<br>comercial |
|----------|------------------------|---------------------|-----------------|------------------------|
|          |                        |                     | %               |                        |
| Humedad  | 4,5                    | 4,2                 | 5,0             | 5,0                    |
| Proteína | 54,1                   | 65,0                | 68,5            | 50,5                   |
| Grasa    | 2,8                    | 8,1                 | 1,5             | 7                      |
| Fibra    | 3,6                    | —                   | —               | —                      |
| Ceniza   | 7,1                    | 6,0                 | 7,9             | 6                      |
| ELN      | 27,9                   | —                   | —               | —                      |

- \* Referencia 7.
- \*\* Referencia 2.
- \*\*\* Referencia 6.

Aunque por su composición en aminoácidos y vitaminas los microorganismos son un excelente alimento, habría que considerar también su posible toxicidad. Durante los últimos años se han venido realizando ensayos de toxicidad y carcinogénesis en animales y los resultados hasta la fecha han sido negativos. Los ensayos de digestibilidad en gallinas y en peces han dado valores entre 80 y 90 por ciento<sup>7</sup>. En las Tablas 5 y 6 se muestran los resultados de alimentar pollos de engorde y gallinas ponedoras con dietas donde la harina de pescado y la harina de soya han sido reemplazadas por levaduras obtenidas por fermentación de hidrocarburos. No se observan diferencias significativas, tanto en el engorde, como en la puesta, entre las aves alimentadas con harinas de pescado y soya y las aves alimentadas con levaduras de petróleo.

Es decir, que tanto desde el punto de vista de su composición, como por los resultados de los ensayos con animales, los microorganismos constituyen un buen recurso alimenticio. Con el objeto de evitar la vía indirecta microorganismo-animal-hombre, en algunos países se hacen intentos de purificar la proteína de microorganismos, de modo que pueda ser incorporada directamente a alimentos humanos. Con esta purificación se remueven, en particular, los ácidos nucleicos, los cuales ocasionan trastornos digestivos en los seres humanos, si su dieta contiene cantidades relativamente elevadas de microorganismos.

Un factor que no debe olvidarse cuando se intenta la introducción de microorganismos en la dieta humana es el de los hábitos alimenticios. El uso de microorganismos exigirá un cambio en los mismos, lo cual es algo difícil.

TABLA 5.— Ensayo de concentrados con pollos de engorde\*

|            |                      |        |         |       |       |
|------------|----------------------|--------|---------|-------|-------|
|            | Maíz                 | 43     | 43      | 43    | 43    |
|            | Harina de soya       | 26     | 22      | 18    | 10    |
| 0-4        |                      |        |         |       |       |
| Semanas    | Harina de pescado    | 8      | 7       | 6     | 4     |
|            | Levadura de petróleo | 0      | 5       | 10    | 20    |
|            | Proteína cruda       | 22,7%  | NDT 77% |       |       |
|            | Maíz                 | 40     | 40      | 40    | 40    |
|            | Harina de soya       | 22     | 18      | 14    | 6     |
| 5-9        |                      |        |         |       |       |
| Semanas    | Harina de pescado    | 7      | 6       | 5     | 3     |
|            | Levadura de petróleo | 0      | 5       | 10    | 20    |
|            | Proteína cruda       | 20,58% | NDT 74% |       |       |
|            | 4 semanas            | 100    | 100,1   | 101,0 | 100,3 |
| Peso       |                      |        |         |       |       |
| Promedio   | 6 semanas            | 100    | 101,8   | 99,5  | 100,7 |
|            | 9 semanas            | 100    | 102,7   | 100,4 | 97,8  |
| Conversión |                      |        |         |       |       |
| de         |                      |        |         |       |       |
| alimento   |                      | 2,21   | 2,20    | 2,21  | 2,23  |

\* Referencia 7.

TABLA 6.— Ensayo de concentrados con gallinas ponedoras\*

|                      |          |       |         |       |
|----------------------|----------|-------|---------|-------|
| Maíz                 | 68       | 68    | 68      | 68    |
| Harina de soya       | 15       | 11    | 7       | 3     |
| Harina de pescado    | 6        | 5     | 4       | 3     |
| Levadura de petróleo | 0        | 5     | 10      | 15    |
|                      | Proteína | 17,1% | NDT 67% |       |
| Huevos/100 aves/día  | 75,1     | 77,8  | 75,8    | 75,9  |
| Peso del huevo, g    | 57,9     | 59,8  | 58,2    | 58,5  |
| Alimento/Ave/día, g  | 103,5    | 100,9 | 101,5   | 100,8 |
| Conversión           | 2,38     | 2,17  | 2,30    | 2,27  |

\* Referencia 7.

#### SUSTRATOS UTILIZADOS POR LOS MICROORGANISMOS

Para que los microorganismos sean una fuente de proteína que contribuya a aliviar los problemas de hambre y de mala nutrición en el mundo, su producción debe ser abundante y barata. Esto nos lleva a considerar el sustrato a usar para su alimentación. En la Tabla 7 se presentan los rendimientos de una levadura, *Candida utilis*, y de tres bacterias en glucosa. Las levaduras y las bacterias del grupo colon-aerógenos producen unos 0,5 gra-

mos de células por cada gramo de glucosa consumido. Las *Pseudomonas* dan un rendimiento más bajo, pero, por otra parte, son organismos más versátiles en cuanto a los sustratos que pueden utilizar.

En la Tabla 8 se comparan los rendimientos de una levadura y de una bacteria en varios sustratos. Los rendimientos en etanol son más altos que en glucosa. Lo mismo ocurre con los alcanos. Sin embargo, los rendimientos en oxígeno son más bajos en alcanos y etanol que en glucosa. El rendimiento en oxígeno es importante por dos razones. Primeramente, la cantidad de energía, en forma de ATP, de que dispone la célula es aproximadamente proporcional a la cantidad de oxígeno utilizado. En segundo lugar, el costo de la fermentación es aproximadamente proporcional a la cantidad de oxígeno usado.

TABLA 7.— Rendimientos aeróbicos de algunos microorganismos cultivados en glucosa.

| Organismo                      | Rendimiento<br>Gramos de células<br>por<br>Gramo de sustrato |
|--------------------------------|--|
| <i>Candida utilis</i>          | 0,51   |
| <i>Escherichia coli</i>        | 0,505  |
| <i>Aerobacter cloacae</i>      | 0,51   |
| <i>Pseudomonas fluorescens</i> | 0,38   |

TABLA 8.— Rendimiento de *Candida* y de *Pseudomonas* en varios sustratos\*

| Organismo          | Sustrato  | Gramos de células<br>por<br>gramo de sustrato | Gramos de células<br>por<br>gramo de O <sub>2</sub> usado |
|--------------------|-----------|---|---|
| <i>Candida</i>     | Azúcares  | 0,5   | 1,25  |
|                    | Etanol    | 0,68  | 0,58  |
|                    | Alcanos   | 0,85  | 0,37  |
| <i>Pseudomonas</i> | Azúcares  | 0,38  | 0,71  |
|                    | Etanol    | 0,54  | 0,41  |
|                    | Alcanos   | 1,0   | 0,49  |
|                    | Metano    | 0,65  | 0,21  |
|                    | Hidrógeno | ca. 2,0                                       | ca. 0,4   |

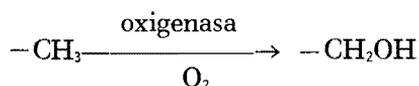
\* Referencia 5.

Las bacterias dan rendimientos en azúcares más bajos que las levaduras mientras que en alcanos normales los rendimientos de las bacterias son más altos que los de las levaduras. No existe una explicación para este hecho.

En resumen, los rendimientos en alcanos, tanto para levaduras, como para bacterias, se encuentran entre 0,85 y 1,00.

Como comparación se incluyen en la Tabla 8 los rendimientos de *Hydrogenomonas*. El rendimiento se refiere a la fuente de energía (hidrógeno) y no a la fuente de carbono (dióxido de carbono). El rendimiento en la fuente de carbono es fijo: un mol de carbono celular por mol de dióxido de carbono utilizado. Lo interesante es que el rendimiento en oxígeno es similar a los rendimientos en oxígeno obtenidos con alcanos y con etanol.

El rendimiento de *Pseudomonas* en metano y en oxígeno es muy bajo. La razón es la siguiente: La oxidación biológica de un grupo metilo requiere una oxigenasa, la cual cataliza la reducción de una molécula de oxígeno atmosférico por cada grupo metilo oxidado:



La reducción de la molécula de oxígeno no va acompañada de la formación de ATP, de modo que se pierde alguna energía. Cuando se utiliza un alcano de alto peso molecular, la cantidad de oxígeno gastada de este modo para oxidar el grupo metilo terminal es una pequeña fracción del oxígeno total.

En la Tabla 9 se presentan los rendimientos en oxígeno "corregidos" para el oxígeno gastado en la reacción catalizada por la oxigenasa, para *Pseudomonas* cultivadas en varios sustratos. El rendimiento en base al carbono del sustrato es más elevado para etanol y hexadecano que para glucosa y metano. El rendimiento en oxígeno "corregido", con metano como sustrato, es más cercano al de los otros sustratos que cuando esta corrección no se hace.

Es interesante, para concluir la discusión sobre rendimientos, comparar los rendimientos obtenidos con microorganismos con los producidos por "animales superiores" (Tabla 10). Los datos de costo para los alimentos humanos se refieren a una ración eficiente, tal como las usadas en la alimentación de animales y no a las raciones innecesariamente costosas consumidas corrientemente por los seres humanos. Las ventajas de los microorganismos sobre los mamíferos y aves en cuanto a eficiencia en la conversión de alimentos son obvias.

#### EL MEJOR SUSTRATO PARA PRODUCIR PROTEINA MICROBIANA

Aunque las levaduras y bacterias pueden cultivarse con rendimientos altos en varios sustratos, la elección de sustrato es una cuestión de naturale-

TABLA 9.— Rendimientos de *Pseudomonas* cultivada en varios sustratos\*

| Sustrato   | Rendimiento en sustrato | Rendimiento en carbono del sustrato | Rendimiento en oxígeno total | Rendimiento en oxígeno útil |
|------------|-------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Glucosa    | 0,38                    | 0,95                                | 0,71                         | 0,71                        |
| Etanol     | 0,54                    | 1,03                                | 0,41                         | 0,41                        |
| Hexadecano | 1,0                     | 1,18                                | 0,49                         | 0,53                        |
| Metano     | 0,65                    | 0,87                                | 0,21                         | 0,57                        |

\* Referencia 5.

TABLA 10.— Rendimiento, ratas de crecimiento y costo de sustrato para vertebrados y microorganismos.

| Organismo       | Rendimiento kg peso seco por kg alimento | Tiempo para duplicar su peso | Costo del alimento Bs/kg de producto |
|-----------------|--|------------------------------|--------------------------------------|
| Infante humano  | 0,02                                     | 50 días                      | 20,0                                 |
| Cerdos pollos   | 0,12                                     | 10 días                      | 3,2                                  |
| Microorganismos | 0,4 a 1,0                                | 0,5-5 horas                  | 0,2-1,0                              |

za económica. El sustrato debe ser abundante y barato, de modo que la proteína microbiana pueda competir con otras fuentes de proteína usadas en la alimentación de animales domésticos, principalmente de no-rumiantes. La proteína requerida en escala mundial para este propósito es una cantidad muy superior a la requerida para la nutrición humana. Sin embargo, es conveniente fijar la atención en la producción mundial de proteínas en relación con los requerimientos humanos (Tabla 11). La producción de proteína está muy por arriba de las necesidades mundiales. Pero una gran parte de esta proteína es consumida por animales y, además, la cantidad de proteína usada por el hombre es muy grande en algunos países y muy pequeña en otros. Para que una nueva fuente de proteína contribuya apreciablemente a los recursos mundiales, su producción debería de ser, por lo menos, de unas 5 a 10 millones de toneladas. Puede observarse en la Tabla 11 que si toda la producción mundial de azúcar se convirtiera en proteína microbiana, se obtendrían única-

mente 17 millones de toneladas de proteína. Un dos por ciento de la producción mundial de petróleo produciría, por fermentación microbiana, tanta proteína como la que se obtiene actualmente con la producción mundial de carne y casi la misma cantidad que se obtendría de la cosecha mundial de azúcar. Es decir, el único sustrato que abunda en cantidades suficientes para la producción de grandes cantidades de proteína microbiana, sin ocasionar muchos cambios en la agricultura del mundo, es el petróleo.

Frecuentemente se ha sugerido el uso de materiales residuales (melaza, suero de leche, mazorcas de maíz, etc.) para producir proteína. La cantidad de tales materiales es muy pequeña para contribuir apreciablemente a aliviar el problema de la escasez de proteína.

TABLA 11.— Producción mundial de proteína (toneladas métricas x 10<sup>6</sup>), 1967 (Requerimiento humano mundial: 62 x 10<sup>6</sup>).

| Fuente   | Proteína producida | Proteína potencial adicional* |
|----------|--------------------|-------------------------------|
| Trigo    | 39                 |                               |
| Maíz     | 24                 |                               |
| Arroz    | 22                 |                               |
| Soya     | 16                 |                               |
| Carne    | 15                 |                               |
| Pescado  | 10                 |                               |
| Azúcar   | —                  | 17                            |
| Petróleo | —                  | 765                           |

\* Obtenible por conversión microbiana de carbohidratos o hidrocarburos.

#### PROCESO DE PRODUCCION DE PROTEINA MICROBIANA

La proteína microbiana se produce por fermentación aeróbica. El medio de cultivo, colocado en un fermentador, se inocula con un microorganismo adecuado bajo condiciones controladas de temperatura, pH y aireación y se deja crecer. El proceso puede hacerse por cargas o continuo. La tendencia actual es el uso de fermentadores continuos. El medio de cultivo contiene agua, hidrocarburo y sales inorgánicas, con el ión amonio como fuente de nitrógeno. Existen dos fuentes de alcanos normales para el cultivo de las levaduras. Una es gas-oil, con un 10 por ciento aproximadamente de alcanos normales; la otra es una mezcla de alcanos normales, obtenida por procedimientos físicos o químicos. Además, cuando se cultivan bacterias, se puede utilizar también metano y/o metanol, obtenido de gas natural. El microorganismo a emplear depende de varios factores, los cuales se reúnen en la Tabla 12. En la

actualidad, la mayor parte de la producción se efectúa con levaduras, a pesar de que esto reduce la variedad de sustratos a elegir. Entre otras razones, esto se debe a la existencia de más información sobre las propiedades nutricionales de las células de levadura que de bacterias.

**TABLA 12.— Comparación de las levaduras y bacterias como producto de la fermentación de hidrocarburos**

| Factor              | Levaduras   | Bacterias   |
|---------------------|---|---|
| Sustrato            | Alcanos normales  | Alcanos normales<br>Alcanos ramificados<br>Metano<br>Aromáticos           |
| Costo de producción | El sustrato puede costar más                            | La cosecha puede costar más   |
| Valor nutritivo     | Muy bueno, hay mucha experiencia sobre su cultivo y uso | Muchas bacterias son muy buenas, algunas tóxicas, existe poca experiencia |

Un fermentador aeróbico es esencialmente un recipiente conteniendo un medio de cultivo líquido y provisto de un dispositivo que mezcla íntimamente el aire, que fluye continuamente, con el líquido. La mezcla debe ser tal que el oxígeno del aire se disuelva en el medio a una velocidad máxima. La producción de células en un fermentador es directamente proporcional a la rata de transferencia de oxígeno del fermentador. Ya vimos que el rendimiento en oxígeno es inferior para microorganismos creciendo en hidrocarburos que creciendo en azúcares. La cantidad de oxígeno que se consume al cultivar células en hidrocarburos es grande, por lo que se debe prestar atención a la eficiencia de transferencia de oxígeno. En el fermentador de operación continua, el medio fresco y los hidrocarburos frescos son añadidos continuamente, pero el contenido de hidrocarburo en el medio en el estado de equilibrio es muy bajo. La suspensión de células se remueve continuamente del fermentador, se centrifuga, se lava y se seca (Fig. 2). Con alcanos purificados puede ser ventajosa la instalación de un segundo fermentador entre el primer fermentador y la centrifuga, de modo que el tiempo de residencia de las células en el segundo fermentador sea lo bastante largo como para que estas remuevan las últimas trazas del sustrato utilizado.

Con gas-oil, la fracción no utilizada del mismo sale mezclada con la suspensión de células y se deben usar solventes para separar las células del

hidrocarburo no utilizado y del medio acuoso gastado. Con todo tipo de sustrato, el fermentador debe estar provisto de dispositivos de enfriamiento, control de pH, control de espuma, control de aireación y agitación.

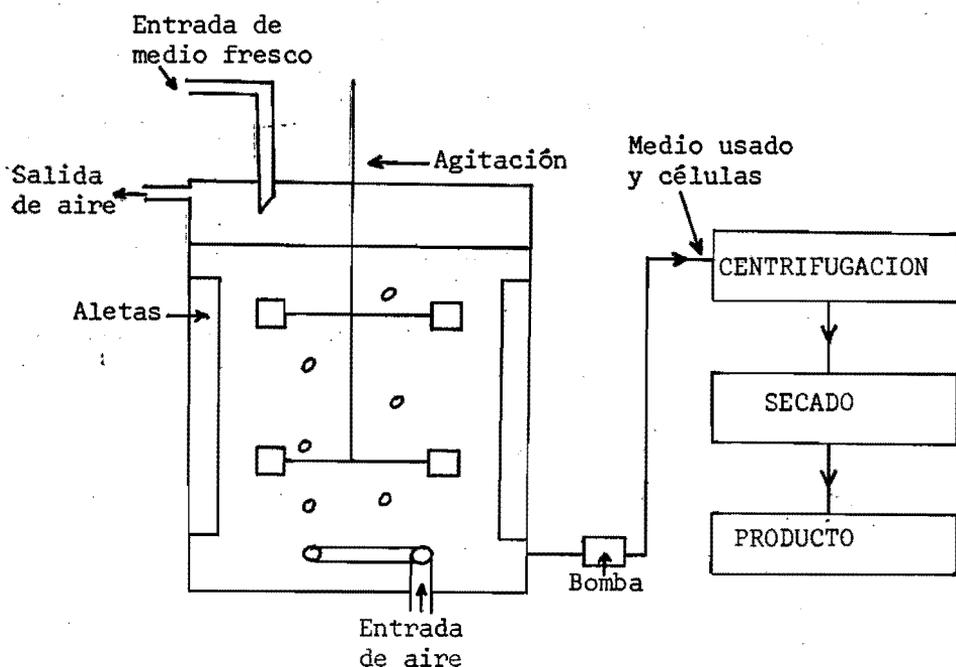


Fig. 2.— Esquema de un fermentador continuo.

La asepsia no es absolutamente esencial, ya que se pueden elegir condiciones tales que los organismos contaminantes crezcan más lentamente que el microorganismo que se esté usando y sean lavados del fermentador continuo. Sin embargo, la asepsia podría ser deseable.

#### COSTOS DE PRODUCCION

Existen pocas cifras publicadas sobre los costos de producción de proteína microbiana de petróleo en escala industrial. En la Tabla 13 se presentan los costos relativos de los distintos componentes del proceso (hidrocarburos, minerales, equipo, etc.), según que se empleen n-parafinas o gas-oil. Aunque el gas-oil es más barato que las n-parafinas, el proceso de remoción de la fracción no utilizada del gas-oil, para obtener un producto que se pueda usar en concentrados para animales, tiene un costo que no compensa la aparente economía. En la misma Tabla 13 se muestra que, según el Instituto Francés

del Petróleo, cuando la producción es de 60.000 toneladas por año, el costo de la levadura es de unos 0,1 dólares USA el kilogramo. Si estas cifras son correctas, las células microbianas pueden competir con otras fuentes de proteína de calidad utilizadas en la alimentación animal. A título de comparación se presentan en la Tabla 14 los costos, en 1971, de tres fuentes proteicas usadas por la industria venezolana de concentrados para animales (harinas de pescado, soya y ajonjolí), los costos estimados de levaduras y bacterias y los costos de levaduras producidas por el Instituto Francés del Petróleo<sup>3</sup>. La levadura IFP compite bien con las harinas de pescado, soya y ajonjolí, tanto en calidad de la proteína, como en precio. El costo de la levadura IFP no incluye el costo del transporte.

TABLA 13.— Costos de producción de levaduras de petróleo

|   | British Petroleum*<br>n-parafinas gas-oil |    | Instituto Francés del Petróleo**<br>15.000 Ton/año 60.000 Ton/año |         |
|---|---|----|---|---------|
|   | % del proceso                             |    | dólares USA/Ton   |         |
| Hidrocarburos   | 40  | 13 | 25  | 25      |
| Minerales   | 18  | 30 | 25-30   | 25-30   |
| Equipo  | 18  | 25 | 20-30   | 20-30   |
| Mano de obra,<br>mantenimiento,<br>depreciación   | 24  | 32 | 95-110  | 65-70   |
| Costo de la levadura (60% proteína),<br>considerando revalorización del pe-<br>tróleo desparafinado, en dólares USA/Ton |   |    | 115-145   | 85-105  |
| Costo de la proteína, en dólares USA/Ton  |   |    | 195-240   | 140-175 |

\* Referencia 2.

\*\* Referencia 3.

#### PANORAMA MUNDIAL DE PRODUCCION DE PROTEINA DE PETROLEO

En la Tabla 15 se presenta un resumen de las plantas dedicadas actualmente a la producción de proteína microbiana a partir de petróleo, incluyéndose algunas fábricas en construcción. La British Petroleum (BP) es la compañía con más experiencia. En su planta de Grangemouth, Escocia, producen 4.000 toneladas de levaduras por año, con n-parafinas como sustrato. La British Petroleum espera elevar la producción de esta planta a 100.000 toneladas para 1974. En Lavera, cerca de Marsella, producen 16.000 toneladas por año. El producto obtenido, tanto en Escocia, como en Francia, será comercializado como suplemento para alimentos animales bajo el nombre de

“Tropina”. La BP está construyendo en Cerdeña, en colaboración con la empresa ANIC, del gobierno de Italia, una planta para producir 100.000 toneladas de levadura por año, usando n-parafinas. La Imperial Chemical Industries (ICI) está instalando una planta para 1.000 toneladas por año. El microorganismo es una Pseudomonas y el sustrato metanol, obtenido de gas natural. ICI espera elevar la producción de esta planta a 100.000 toneladas para 1976. La industria inglesa de concentrados para animales importa actualmente unas 500.000 toneladas de harina de pescado, principalmente de Perú. Si los planes de BP y de ICI se cumplen, Inglaterra estará en capacidad para 1976 de sustituir aproximadamente la mitad de sus importaciones de harina de pescado por proteína microbiana de origen petrolero.

TABLA 14.— Costo de la proteína contenida en varios alimentos

|                          | Proteína | Producto | Proteína |
|--------------------------|----------|----------|----------|
|                          | %        |          | Bs/Kg    |
| Harina de pescado        | 65       | 0,90     | 1,39     |
| Harina de soya           | 50       | 0,65     | 1,30     |
| Harina de ajonjolí       | 45       | 0,46     | 1,02     |
| Levaduras de petróleo    | 60       | 1,20     | 2,00     |
| Bacterias de gas natural | 60       | 1,15     | 1,90     |
| Levaduras IFP*           | 60       | 0,50     | 0,83     |
| Huevos                   | 11       | 2,34     | 21,30    |
| Pollos                   | 14,5     | 2,47     | 17,05    |
| Carne                    | 11,5     | 1,77     | 15,40    |
| Harina de trigo          | 11,7     | 0,36     | 3,07     |
| Leche descremada (polvo) | 36       | 0,83     | 2,31     |

\* Planta de 60.000 toneladas/año y considerando la revalorización del petróleo desparafinado.

Aunque casi toda la producción de proteína microbiana está siendo utilizada en la preparación de alimentos para animales, existen algunos grupos interesados en la producción de alimentos humanos. La Rank Hovis Mc Dougall, mencionada anteriormente, está construyendo en Inglaterra una planta para la fermentación continua de hongos, con capacidad para 150 toneladas por año, usando como sustrato sales amónicas y almidón procedente de desechos de panadería. El producto será usado como sustituto proteico en dietas humanas.

El Instituto Francés del Petróleo ha instalado dos plantas piloto, una en la India, la otra en Nigeria. En el Japón, no menos de ocho compañías han anunciado planes definidos para la producción de proteína petroquímica. El líder es la Kanegafuchi Chemical Industries, que en asociación con Maru-

TABLA 15.— Producción mundial de proteína microbiana a partir de petróleo 1972.

| Compañía                  | Lugar                    | Organismo   | Fuente de carbono | Producción Ton/año |
|---------------------------|--------------------------|-------------|-------------------|--------------------|
| BP                        | Lavera<br>(Francia)      | Levadura    | Gas-oil           | 16.000             |
| BP                        | Grangemouth<br>(Escocia) | Levadura    | n-parafinas       | 4.000              |
| BP                        | Cerdeña<br>(Italia)      | Levadura    | n-parafinas       | 100.000            |
| ICI                       | Teesside<br>(Inglaterra) | Pseudomonas | Metanol           | 1.000              |
| Shell                     | Inglaterra               | Pseudomonas | Metano-metanol    |                    |
| IFP                       | India-Nigeria            | Levadura    | Gas-oil           |                    |
| Chinese Petroleum Corp.   | Taiwan                   | Levadura    | Gas-oil           |                    |
| Kanegafuchi-Maruzen       | Japón                    |             |                   | 6.000              |
| Dainippon Ink & Chemicals | Japón                    |             |                   | 120.000            |
| Kyowa Hakko Koggo         | Japón                    | Levadura    | Gas-oil           | 100.000            |
| Mitsui                    | Japón                    |             | Gas-oil           |                    |
| Mitsubishi                | Japón                    |             |                   |                    |
|                           | USSR                     |             |                   | 50.000             |
|                           | Checoeslovaquia          |             |                   | 20.000             |
|                           | China                    |             |                   |                    |
| Esso-Nestlé               | EE.UU.                   |             |                   |                    |
| Mobil                     | EE.UU.                   |             |                   |                    |
| Gulf                      | EE.UU.                   |             |                   |                    |
| Shell                     | EE.UU.                   |             |                   |                    |
| Indiana Standard          | EE.UU.                   |             |                   |                    |
| California Standard       | EE.UU.                   |             |                   |                    |

American Gas Association e Institute of Gas Technology (Chicago) EE.UU.

zen Oil, está terminando una planta para 6.000 toneladas por año. Dainippon Ink & Chemicals termina una planta para 120.000 toneladas por año para finales de 1972 y Kyowa Hakko Koggo, en base a una licencia de la BP, planea para 1973 una planta de 100.000 toneladas por año. Los gigantes industriales Mitsui y Mitsubishi también están planeando la fabricación de proteína de petróleo.

Existe poca información procedente de la Europa oriental, pero se ha reportado la existencia en Rusia de, por lo menos, una planta para 50.000 toneladas por año, usando gas-oil como sustrato, y una planta en Checoslo-

vaquia para 20.000 toneladas por año. China, con su vasta población y su perenne escasez de alimentos, no debe estar ignorando las posibilidades de este proceso.

En los Estados Unidos, por lo menos ocho compañías petroleras se encuentran estudiando las posibilidades de la fermentación de hidrocarburos.

#### LITERATURA CITADA

- 1 — BEGG, J. E., High photosynthetic efficiency in a low-latitude environment, *Nature*, 205: 1025-1026 (1965).
- 2 — BENNETT, I.C., J.C. Hondermarck y J.R. Todd, How BP makes protein from hydrocarbons, *Hydrocarbon Processing*, March 1969, 104-108.
- 3 — DECERLE, C., S. Franckowiak y C. Gatellier, How I.F.P. makes food yeast, *Hydrocarbon Processing*, March 1969, 109-112.
- 4 — HOWARD, J., New proteins: animal, vegetable, mineral, *New Scientist*, 25 February 1971, 438-439.
- 5 — JOHNSON, M. J., Microbial cell yields from various hydrocarbons. En "Fermentation Advances". D. Perlman (editor), Academic Press, 1969, 833-842.
- 6 — LAINE, B. y Ch. Vernet, Progres recents dans la production de proteines a partir du petrole, *Proc. 7th World Petroleum Congress*, 1967. México, Elsevier, 1967, 194-204.
- 7 — TAKATA, Takshi, From n-paraffins to proteins, *Hydrocarbon Processing*, March 1969, 99-103.