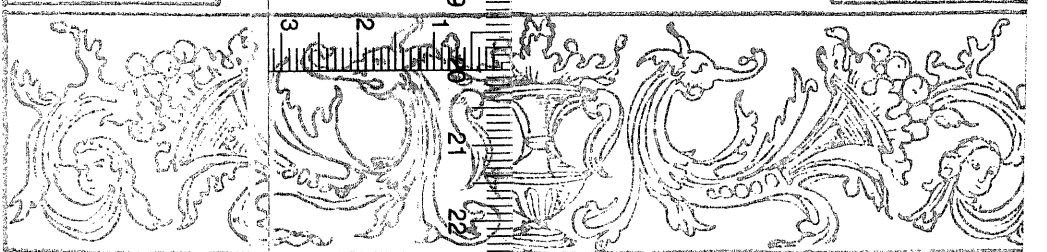


**IP**  
DISCURSO  
DE  
APERTURA

POR EL CATEDRÁTICO  
DE LA FACULTAD DE FARMACIA  
DR. D. VICENTE CALLAO FABREGAT

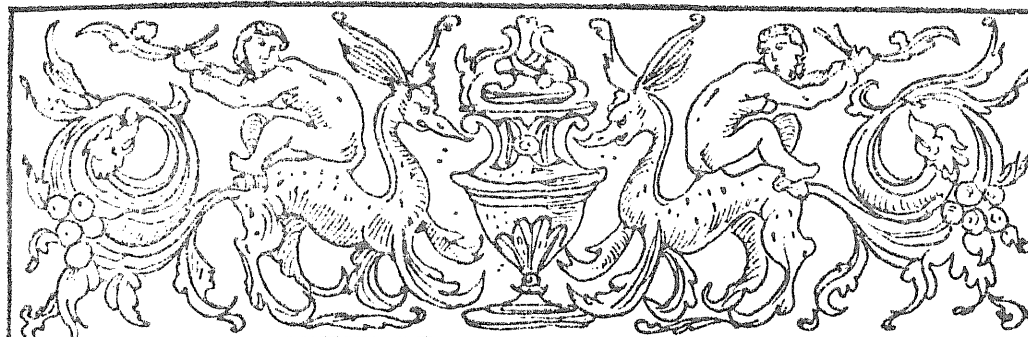


UNIVERSIDAD DE GRANADA



1967

1968

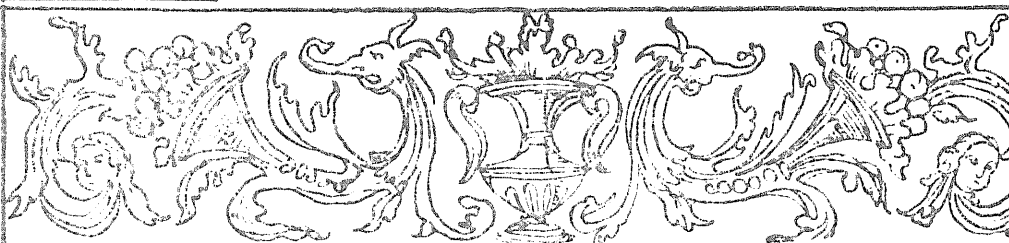


DISCURSO  
DE  
APERTURA

POR EL CATEDRATICO  
DE LA FACULTAD DE FARMACIA  
Dr. D. VICENTE CALLAO FABREGAT



UNIVERSIDAD DE GRANADA



1967

1968

5

# DISCURSO DE APERTURA

POR EL CATEDRÁTICO  
DE LA FACULTAD DE FARMACIA

Dr. D. VICENTE CALLAO FABREGAT

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA  
GRANADA  
N.º Documento 242099  
N.º Copia 24211

488  
271



UNIVERSIDAD DE GRANADA  
1967-68

LOS MICROBIOS ANTE EL PROBLEMA  
DEL HAMBRE

## DEDICATORIA

*A la memoria de mi muy querido hijo Vicente Enrique, malgrado para la Ciencia, cuyo nombre resonó, hace un año, en este mismo lugar y circunstancias del Curso Académico anterior, por haber conseguido Premio Extraordinario de la Licenciatura en la Facultad de Medicina.*

*Depósito Legal: GR - 194 - 1967*

Gráficas del Sur, S. A. - Boquerón, 27 - Granada

EXCMO. SR. RECTOR MAGNÍFICO DE LA UNIVERSIDAD

EXCELENTÍSIMOS E ILUSTRÍSIMOS SEÑORES

SEÑORES PROFESORES

SEÑORAS

SEÑORES

ESTUDIANTES TODOS.

La casualidad de turno de Facultades y de Orden de antigüedad escalafonal, imponen mi presencia, en este lugar, para desarrollar el Discurso de Apertura correspondiente al Curso Académico que quedará ahora inaugurado, en la Universidad de Granada, tras pronunciar su Rector Magnífico la fórmula ritual. Solamente a ello se puede justificar mi presencia en este lugar, porque mis merecimientos son tan pobres que no permiten, en modo alguno, el honor de dirigiros la palabra desde aquí.

Sean mis primeras palabras para felicitar a los nuevos Catedráticos advenidos a la Docencia en nuestra Universidad, congratulándonos por la incorporación a su Claustro y deseándoles larga y fecunda vida en beneficio de la Enseñanza y de la Investigación, a través de las Disciplinas que profesan. Son ellos: El Dr. D. Baldomero López Pérez, que obtuvo, por Oposición, la Cátedra de Química Técnica. El

Dr. D. Amadeo Sañudo Palazuelos, que ganó, por Oposición, la Cátedra de Biología General. El Dr. D. Rafael Núñez-Lagos Roglá, que ganó, por Oposición, la Cátedra de Física General, y el Dr. D. Luis Esteban Carrasco, que obtuvo, por Oposición, la Cátedra de Geometría Analítica y Topología. Todos ellos de la Facultad de Ciencias. El Dr. D. Jaime Gil Aluja, que obtuvo, por Oposición, la Cátedra de Economía de la Empresa en la Facultad de Ciencias Políticas, Económicas y Comerciales. El Dr. D. Nicolás María López Calera, formado en esta Universidad y que volvió a ella por traslado, desde la Universidad de Oviedo, para ocupar la Cátedra de Derecho Natural en la Facultad de Derecho. El Dr. D. Fernando Esteve Chueca, que ha ganado, por Oposición, la Cátedra de Botánica Descriptiva de la Facultad de Farmacia, y el joven Dr. D. Jesús Lens Tuero, que vino, por Oposición, a ocupar la Cátedra de Filología Griega en la Facultad de Filosofía y Letras.

Al mismo tiempo, expresamos nuestro más profundo dolor, por la irreparable pérdida del querido Decano de mi Facultad, que Dios quiso llevar a su seno el pasado 28 de Abril, el Dr. D. José Dorronoro Velilla, apellido ilustre en la Facultad de Farmacia, que llena un Siglo de su existencia, hombre ejemplar, bueno y afable que estuvo, en su labor diaria a través de 39 años de Docencia, formando hombres y buenos profesionales, que supo unir a todos los Profesores que integraban la Junta que presidía en un bloque homogéneo, para conseguir mayor fecundidad en la tarea y cuya labor científica y humana perdurará en la Memoria y en el Tiempo.

No le decimos adiós al Dr. D. Enrique Hernández López, nuestro buen amigo, gran maestro de la Cirugía Española, con una visión didáctica admirable de esta difícil Ciencia Médica y que se ha jubilado el 14 de Mayo pasado, por prescripción legal, al haber cumplido la edad reglamentaria. Y no le decimos adiós porque tiene aún condiciones para seguir, como seguramente lo hará, su vocación docente y científica en nuestra gloriosa Facultad de Medicina, que no le cierra sus puertas y esperamos tenerle con nosotros, muchos años, deleitándonos con su gran valor humano y social.

Tampoco decimos adiós definitivamente a los que marcharon a otras Universidades, para continuar en ellas una labor fecunda, dejando aquí recuerdos y ejemplo. No les despedimos sino con un "hasta luego", pues aún esperamos recibir sus enseñanzas a través de publicaciones y conferencias y algún día tendremos el placer de re-

cibirlos aquí, Universidad que fue de ellos y aún sigue siendo. Son el Dr. D. Ricardo Granados Jarque, que pasa, por Oposición, a ocupar la Cátedra de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Barcelona, y el Dr. D. José Giménez Blanco, que pasa, por traslado, a cubrir la vacante de la Cátedra de Sociología y Metodología en la Facultad de Ciencias Políticas, Económicas y Comerciales de la Universidad de Valencia.

Y es motivo mayor de satisfacción que Alumnos muy brillantes de esta Universidad, formados en la misma para la Docencia y la Investigación, hayan conseguido Cátedra en otras Universidades, donde velarán sus armas y enseñarán lo que aquí aprendieron. Nos referimos al Dr. D. Miguel Rojo Sierra, formado en la Escuela y Departamento de Psiquiatría de la Facultad de Medicina, que ganó Cátedra de Psiquiatría en Santiago, pasando seguidamente a la Universidad de Valencia y al Dr. D. Enrique Montoya Gómez, querido discípulo adscrito a mi Departamento de la Facultad de Farmacia, Investigador en la Sección de Microbiología de la Estación Experimental del Zaidín, que ha obtenido Cátedra de Microbiología en la Facultad de Ciencias, Sección Biológicas de la Universidad hispalense.

## LOS MICROBIOS ANTE EL PROBLEMA DEL HAMBRE

El Pecado Original, cuando privó a la Humanidad de las delicias paradisiacas condenándola a las vicisitudes de la dependencia, fue la causa que introdujo las mayores desdichas para el género humano. "Ganarás el pan con el sudor de tu frente" fue la Sentencia Divina y esa sentencia llevaba implícita la pena de las calamidades que como el Hambre, compañera inseparable de la Peste y la Guerra, conductoras todas de la Muerte, azotaron al hombre, como Jinetes del Apocalipsis de San Juan, desde los primeros instantes de su existencia fuera del Paraíso.

El Pan fue difícil de ganar, había que obtenerlo trabajando intensamente el fondo y la superficie de la tierra, explorando y domándolos, ascendiendo a las alturas y compitiendo con los demás seres y con los demás hombres que buscaban afanosamente la manera de subsistir. Nunca hubo suficiente para todos y desde los primeros momentos, el Hambre, esa Hija de la Noche como la llamó Hesiodo, apareció coaligada con todos los acontecimientos de la antigüedad. Atraviesa los tiempos bíblicos azotando los pueblos, como se lee en el Génesis y en el Libro de los Reyes. Sacudió al Egipto de los Faraones como plaga aterradora, apareció en la Grecia antigua. En el año 440 antes de J. C. los plebeyos romanos se arrojaban en masa al Tiber impelidos por el hambre. "Panem et circensis" era su grito de apetencia. Acompañó la invasión de los Bárbaros y preside en la Edad Media casi todos los acontecimientos de la época. Las incursiones de los asiáticos a Europa fueron movidas por ella, desparra-

mando las hordas de Atila, sigue después solapada, todos los acontecimientos históricos y preside desastres, como en los años 879, 1016 y 1162 cuando se apoderó de toda Europa: se comía entonces la tierra, a la que se agregaba un poco de harina, cociéndola como pan y los hombres compraban a los animales chupándoles la sangre, como vampiros. En el sitio de San Juan de Acre las habas se vendían por unidades. Trece de ellas costaban un dinero y cuando dentro de alguna se encontraba un gusano, corría el cruzado hacia el vendedor, forzándole a reemplazar el haba carcomida.

Todas las Naciones y Continentes han padecido períodos de hambruna. La Francia del siglo XVI se ve castigada por trece de ellas y la del XVII por once, considerándola como un factor fundamental para el desarrollo posterior de la Revolución. El obispo de Chartres constató, en la segunda mitad del siglo XVIII, que "los hombres comían pasto como las ovejas y morían como moscas".

Durante toda la Edad Media y los primeros siglos de la Edad Moderna, las pérdidas humanas causadas por el hambre y por la peste, en Europa, fueron muy considerables. A este respecto se ha dicho que las defunciones provocadas por el hambre fueron más importantes que las bajas acaecidas por la guerra y epidemias en conjunto y todo ello persistió hasta los comienzos del desarrollo industrial, a principios del siglo XIX, cuando el descubrimiento de la máquina permitió que la agricultura saliera de su letargo de siglos y el vapor, sustituyendo a la vela en el mar y a la tracción animal en la tierra, pusiera los recursos de ésta y aquél a disposición de poblaciones que antes carecían de ellos. En este siglo terminaron las hambres en Europa, si se exceptúa la hambruna de Irlanda en 1847 que acabó con un millón de hombres y obligó a otro millón a emigrar a América. No fue así en otros continentes y el hambre, desde entonces, se ha refugiado en el Extremo Oriente, calculándose que solamente en China, durante aquel siglo, murieron de hambre más de 100 millones de habitantes y en los últimos años del siglo XX, se supone que han fallecido de hambre 20 millones de indios. Unida a la guerra golpea todos los países y entre 1940 y 45 se abate sobre Europa en armas, desde Francia hasta la Unión Soviética, del mismo modo que sacudió ciertas regiones de nuestra Patria durante la Guerra de Liberación y años siguientes.

Hoy hay aún hambre en gran parte de las naciones del globo, hambre aguda en el Extremo Oriente, en la India, en Africa, en el

llamado Polígono de la sequía al Noroeste del Brasil, pero existe también en todos los países en desarrollo y en ciertas zonas suburbanas de los países desarrollados, la llamada Malnutrición, hambre crónica o hambre oculta que ocurre en el hombre cuando no consume todos los alimentos que necesita para vivir en buena salud, desarrollarse normalmente en su infancia y tener una actividad fisiológica normal para todas sus funciones. Hay muchos hombres que no pueden conseguir alimentos que les suministren las 2.200 calorías diarias, energía que necesita imprescindiblemente un adulto medio en talla y peso. Sobre esta base y excluidos los chinos, cuyas cifras se desconocen, del 10 al 15 por 100 de la población mundial no se alimenta lo suficiente, según han puesto de manifiesto las estadísticas publicadas por la FAO en 1946, demostrando que la mitad de la población mundial disponen de menos de 2.250 calorías diarias, una sexta parte de la misma utiliza entre 1.850 y 2.750 calorías y poco menos de un tercio de más de 2.750 calorías, es decir, de cada tres hombres dos sufren de hambre.

Estos cálculos, sin embargo, ocultan ciertos aspectos interesantes en el problema de la satisfacción de necesidades alimentarias, pues en los países ricos hay gentes que consumen bastante más de lo preciso y en consecuencia, otros más numerosos no disponen de lo suficiente. Según las investigaciones de Blak, de la Universidad de Harvard, en los propios Estados Unidos el 25 por 100 de los habitantes consumen más alimentos que precisan, es correcto el consumo para el 42 por 100 y el 33 por 100 no consumen lo necesario y padecen malnutrición.

El hombre es un ser heterotrofo incapaz de sintetizar los productos necesarios para construir su organismo a partir de sustancias inorgánicas sencillas, como lo hacen las plantas verdes y algunas bacterias y es, por ello, a consecuencia de un proceso de nutrición complicado, por lo que necesita consumir no solamente alimentos, que quemará después para conseguir energía, sino otros, más completos, que requiere para plastificar su organismo. El hombre necesita proteínas y vitaminas para estar libre de ciertas enfermedades que desaparecen súbitamente ante una alimentación correcta y no sólo son ellas consecuencias de este pobre estado de nutrición, al que puede también llegarse con un aporte de calorías, si bien cuantitativamente correcto, cualitativamente inadecuado, en un régimen escaso de proteínas que puede conducir a un estado de subnutrición o Ham-



bre específica, lo que influye decisivamente sobre su salud y rendimiento y a la que son aún más vulnerables las mujeres embarazadas, nodrizas, niños y adolescentes, castigando más los estratos económicamente débiles que consumen, en su dieta, más hidrocarbonados que proteínas de origen animal, mucho más necesarias que las vegetales y por más caras más inasequibles.

Hay una enfermedad frecuente en los países subnutridos, especialmente Africa, el Kwashiorkor, que resulta de la carencia brusca de proteínas animales en el destete de los niños, cuando se introduce, para ellos, una dieta casi exclusiva de hidrocarbonados y que ataca ocho niños de cada diez, en tales países, contribuyendo al incremento de su mortalidad general y determinando después incapacidades para el trabajo por las que no pueden producir los alimentos necesarios para sí mismos y para sus hijos.

#### RELACIONES CON LA BIOSFERA HUMANA

Conocemos hoy, estadísticamente hablando, el número, casi correcto, de individuos de la Especie humana que viven distribuidos por edades y países, pero la aplicación de estos cálculos, a las relaciones humanas interglobales, puede conducir a conclusiones erróneas y a perspectivas desorientadoras. Cuando no se coloca al hombre en su posición ambiental, adecuada, se adquieren conceptos falsos en relación con la potencialidad del Globo para mantenerlo.

Un principio general de la Energía, el Principio de Le Chatelier, determina que cuando un sistema se encuentra en fase de equilibrio estable, si se altera una de las condiciones, se desplaza el equilibrio con tendencia a restablecer las condiciones originales. El Hombre ha vivido en el Planeta desde su Creación a través de centenares de milenios y constituyen los sistemas de su equilibrio existencial la tasa de nacimientos, la tasa de defunciones y la cifra de los recursos naturales, necesarios para mantener la población humana. Tales sistemas, si no en equilibrio estable, se encuentran por lo menos, aproximadamente, en cierto estado de situación establecida donde pueden originarse cambios adaptativos cuando se alteran las condiciones.

Durante los últimos 150 años han cambiado profundamente las condiciones de existencia del hombre. El reino humano ha sido siempre mayor que el número de individuos de la especie, porque el hombre utiliza, para sus propósitos, los vastos dominios del mundo vivo y es enorme la masa de seres vivientes que se halla sometida a su esfera. El hombre depende, para su alimento y vestido, de la biomasa que controla, esta masa es bastante superior a la masa humana, hasta el punto que si consideramos solamente la biomasa dependiente, en los seres animales que proporcionan al hombre alimentos y transporte, se alcanza la cifra de 860 millones de Toneladas, 4 y media veces mayor que la biomasa humana, que sólo es de 187 millones de Toneladas métricas, masa toda que hay también que nutrir con los recursos del suelo aunque a su vez produzca alimentos muy importantes para el hombre.

Las proteínas que se consiguen son alimentos clave y en la biosfera humana puede también compararse el consumo, por hombre y animal, sobre la base de la cantidad total de proteínas vegetales que se utilizan. Con esta comparación alcanzamos cifras tan significativas como las observadas anteriormente al comparar los pesos. Las computaciones se hacen generalmente considerando un peso medio humano de 70 Kg. por unidad y presumiendo la necesidad de 70 gramos de proteína por día, se puede, de este modo, considerar la masa viva humana y aquella que está bajo su control, en su biosfera, en términos de equivalentes de población (unidades PE), midiendo el total de los seres vivos consumidores, con el propio esquema humano. Así se puede ver fácilmente que el Globo no está habitado solamente por 3.000 millones de humanos, sino que tiene aproximadamente 17.500 millones de consumidores. Los otros seres vivos utilizan lo que comerían 14.500 millones de humanos.

A pesar de la mecanización, los Equidos del mundo consumen la proteína que comerían 653 millones de habitantes, es decir, utilizan una energía superior a la que se precisa para el país más grande del Globo, China. Las Américas, con sus 400 millones de habitantes, consumen solamente 1/4 de lo que utilizan todos los porcinos del mundo. El ganado representa un gasto de proteína dos y media veces mayor que la humana de todo el continente asiático.

La alimentación del mundo es principalmente vegetariana, porque la producción global de alimentos vegetales supera en mucho a

la de los alimentos animales. En la Tabla n.º 1 se informa sobre esta producción (Bergstrom).

TABLA N.º 1

Producción global de alimentos vegetales  
en millones de Tms.

Alimento	Peso	Materia seca	Proteína	% de proteína vegetal y alimenticia
Trigo	250	212	19,5	32,0
Arroz	260	222	16,0	27,7
Legumbres	30	—	7,4	12,2
Patatas	400	80	5,0	8,3
Pan	220	187	4,5	7,5
Otros	253	175	7,7	12,3

La subdivisión del consumo de proteínas para la alimentación del hombre es aproximadamente la de la Tabla 2 (Bergstrom) en millones de Toneladas métricas (Bergstrom.—*The human biosphere and its biological and chemical limitations.—Food and Agricultural Microbiology p. 130 Uppsala 1964*).

TABLA N.º 2

Consumo global de proteínas  
en millones de Tms.

	Vegetales		Animales
Cereales	38	Leche	10,5
Legumbres	8	Carne	8,0
Otros	15	Huevos	2,2
		Pescado	3,0
Total	61		24,0

Aunque lo importante en términos de nutrición no es el peso, sino más bien la cifra de materia seca, a la que sigue después la ci-

fra de proteína, sustancia clave para la formación del protoplasma. Sumarizando la situación, las siguientes cifras (Tabla n.º 3) representan el total del consumo humano,

TABLA N.º 3

Consumo humano mundial

	Productos vegetales	productos animales
Calorías	9/10	1/10
Proteínas	2/3	1/3

que demuestra el aserto de que la alimentación humana es predominantemente vegetariana, la que se refiere no sólo a los hidrocarburos y proteínas, sino también a las grasas, pues aproximadamente una población de 250 millones de habitantes en Europa, USA y Rusia dependen hoy, primordialmente, de los aceites y grasa vegetales, como la oleo margarina y no podría retornar a las grasas animales, como la manteca, sin serias disrupciones en sus líneas de recursos del suelo.

Solamente una de cada diez calorías que se consumen en el mundo, es de origen animal y en término de proteínas, la relación planta animal, es de como 2:1, sólo consumen primordialmente animales 400 a 500 millones de la población humana.

Una conclusión, a la que se podría llegar desde estas consideraciones, sería que erradicando todo el ganado podría alimentarse 14.500 millones de hombres más, pero tal razonamiento es completamente falso, porque se olvida entonces el hecho de que la mayor parte de la superficie del globo no es utilizable para conseguir productos vegetales de consumo humano. Además, el reino vegetal no está básicamente organizado para subvenir las necesidades alimenticias del hombre. Los productos vegetales son alimentos limitados. El hombre pertenece al grupo animal que posee un sistema monogástrico y de ahí su dificultad para metabolizarlos directamente, porque la célula vegetal no es inmediatamente accesible para él. Para utilizar, como alimentos, muchos productos vegetales, necesita el hombre elaborarlos técnicamente mediante molturaciones, fermentaciones, cocciones, u otros procedimientos industriales. En este aspecto son superiores los rumiantes, capaces de utilizar directamente ciertos productos de desecho, tales como la celulosa, hemicelulosa y otros que no pueden

introducirse, sin modificarse, en la biosfera humana. El hombre, por consiguiente, se alimenta de los rumiantes, con su carne y con su leche, a través de una concentración de alimentos que él no puede utilizar, creando entonces razones C/N bien establecidas y ajustadas a los niveles nutricionales que requiere.

Los porcinos tampoco son competidores del hombre en su alimentación, sino, como los rumiantes, transforman productos que él no puede utilizar, en ricos y sabrosos alimentos completos. En China los utilizan para la roturación de los terrenos con su hociqueo y en Europa comen basuras y desechos y consumen ciertos otros productos industriales de baja calidad alimenticia para el hombre, como la leche descremada, suero lácteo, harinas de carnes diferentes, etc.

En la expansión de la Biosfera humana, la mayor, si no la más importante, contribución a la alimentación microbiológica de la misma, la constituye su asociación con los Rumiantes. Podemos considerar a este grupo de seres, desde un punto de vista biológico, como parásitos de la microflora de su rumen. Entre los animales domésticos, los Rumiantes son más numerosos que cualquier otro grupo, representando la cifra de 10.700 millones de unidades PE (población equivalente), contra 6.300 millones de unidades entre los no Rumiantes, de los cuales, el hombre, sólo vale 3.000 millones de unidades. También los Rumiantes son los animales más voluminosos, toro, jirafa, búfalo, antílopes, etc. Posiblemente son tan numerosos porque pueden utilizar directamente el componente vegetal más abundante, la celulosa, que no es digestible para la mayor parte de los animales y son capaces de utilizarla porque ciertos grupos de microbios Bacterias y Protozoos, que viven en sus panzas, la predigieren para ellos.

Con la ayuda de las bacterias celulolíticas, los rumiantes no solamente pueden alimentarse de celulosa, sino que utilizan las proteínas vegetales con mayor ventaja sobre las otras especies de animales. Las proteínas vegetales no tienen una digestión tan fácil como las animales, pero en los rumiantes las bacterias de su panza las resuelven en aminoácidos, desde los cuales sintetizan sus propias proteínas. Las bacterias descomponen más que usan y entonces los rumiantes utilizan el excedente en provecho propio. Además estas bacterias mueren después en el mismo estómago del rumiante y entonces son digeridas por los jugos de la vaca como cualquier otra proteína alimenticia. En estos fenómenos de la digestión proteínica de los rumiantes, aún no son exactamente conocidos los efectos del balance entre Bacte-

rias, Protozoos y exceso de Amoníaco, las funciones de la Vitamina B<sub>12</sub>, etc. En relación con estos aspectos y aunque por ahora no existe conexión con la producción de alimentos, cabe citar a los Insectos descomponedores de la madera, los cuales también poseen en su tubo digestivo simbiontes capaces de digerir la celulosa. Los más estudiados, las Termitas, albergan Protozoos-Bacterias que descomponen la celulosa, mientras la hormiga se aprovecha de los productos originados por esta digestión.

Existen en el mundo naciones gigantes como la URSS, Estados Unidos, China y Brasil, la primera de las cuales totaliza sola 1/6 del Globo, que poseen dentro de ellas enormes diferencias topográficas, climáticas y biológicas. Al lado de ellas se encuentran otras naciones pigmeo, como Israel, Kuwait y Somalia, con uniformidad total en estas condiciones, de tal modo que los datos nacionales solamente pueden compararse entre sí, aunque pueden coexistir ciertos principios fundamentales para comparar, desde los puntos de vista geográficos y biológicos, las fuentes para la producción de alimentos en cada país. Hay quien sostiene que la Agricultura de un país y solo ella, constituye la base de su alimentación. Existen sin embargo pocos países en el mundo donde ello sea exacto. La subsistencia de cada nación descansa fundamentalmente sobre un trípode, Agricultura, Pesca y Fabricación. La pesca proporciona alimentos animales de gran valor nutritivo y existen naciones, como las del Caribe, que dependen exclusivamente de ella, importando los otros alimentos que le son necesarios y exportando, a los otros países, sus excedentes de pesca que son bastante elevados. Los pescados se importan primariamente como productos secos y salazones. El bacalao ha jugado desde la Edad Media un papel importante en la alimentación de diferentes países, en Europa e Hispanoamérica, donde aún continúa manteniendo una posición principal. Hoy la harina de pescado desecado es fuente de proteínas para la alimentación humana y animal, hasta el punto, de que el incremento de la producción ganadera del Japón depende de las factorías pesqueras, que operan por los mares del Estrecho de Behring y frente a las costas de Angola. La producción de proteínas, existentes en la Europa actual, depende en gran manera de la harina de pescado y de las tortas oleaginosas que se importan y cuenta, para la producción de alimentos en un país, tanto la importación como la exportación.

En estos últimos años, mejorados los métodos agrícolas, estable-

cida la revolución de la Tecnología y la mejor organización de la Industria, con el descubrimiento y explotación de minerales y carburantes, ha aumentado extraordinariamente la utilización de los recursos en los países más desarrollados. El mejoramiento de las fuentes de producción y de las condiciones de vida de los pueblos y los descubrimientos y aplicaciones de las ciencias médicas y de la Sanidad, durante la última centuria, han disminuído enormemente las tasas de mortalidad entre la población humana, aunque en la Europa occidental, esta disminución de la mortalidad se corresponde con una declinación en la cifra de los nacimientos. El cambio gradual de las altas tasas de muerte y nacimientos, en condiciones de recursos, relativamente abundantes, se conoce como transición demográfica. La situación declinante en la mortalidad y la fertilidad que desde 1800 se da en Europa occidental y meridional (con excepción de Albania) se ha dado también en la Unión Soviética, Japón, Australia, Canadá, Argentina y Nueva Zelandia, países todos que han cambiado una sociedad predominantemente rural, agraria, por otra con predominio industrial, urbano, extendiéndose en ellos la Educación nacional, si no a nivel de Universidad, al menos a nivel de primera enseñanza para todos sus habitantes.

Las consecuencias ecológicas de la transición demográfica, en los países más desarrollados, han envuelto poblaciones que crecen rápidamente, hasta tal punto, que su velocidad de crecimiento no está suficientemente compensada con el incremento de los recursos, que permiten mejorar la condición de la vida individual, lo que ha determinado que no fallen aquellos ajustes humanos, políticos y sociales, que en caso contrario, ante el aumento de población, sin la compensación de incremento de nivel de vida, pudiera dar como resultado la explotación, la guerra, la destrucción de masas y la miseria. El establecimiento proporcional, aproximado, entre los nacimientos, defunciones y recursos, en los países no desarrollados, ha sido catastróficamente alterado. La estabilidad dinámica de una nación depende de cierto número de factores, independientes e interdependientes. Aunque la posesión de recursos naturales como carbón, hierro, aceite, agua, tierras fértiles, lluvias adecuadas, etc., constituye gran ventaja para la nación, la energía y el carácter de su población y su capacidad y deseo de desarrollo, utilizando sus recursos naturales, es de capital importancia y parece ser el factor limitante en las denominadas áreas subdesarrolladas del mundo.

Estas son extensiones donde la pobreza, enfermedad y hambre son crónicas y no solamente resultado de la falta de los productos naturales, sino que la Tecnología es demasiado primitiva para aprovechar los recursos y las Instituciones políticas y sociales son demasiado ineptas para disponer de las fuerzas precisas al desarrollo de los productos crudos y de todo otro recurso necesario para promover el bienestar del pueblo.

El uso inteligente de los recursos naturales depende primordialmente de la Ciencia y de la Tecnología y así, para obtener su mejor beneficio, deben las Naciones desarrollar una adecuada Ciencia y una Tecnología eficaz. En un sentido muy real, la Ciencia, es la esencia del poder y bienestar nacional. Es el mejor recurso de la Nación. La Tecnología aplicará siempre el resultado previo de la Ciencia con el fin de alcanzar los mayores rendimientos de sus descubrimientos.

El bienestar de un pueblo depende, pues, de sus recursos naturales y de su capacidad para utilizarlos.

La utilización de estos recursos es función primordial de la Ciencia y de la Tecnología. A este aspecto la "United Nations Development" decía en 1962 lo siguiente: "El desenvolvimiento agrícola de los países no desarrollados, aumentó sólo en poca proporción durante la pasada década. En Asia y en Extremo Oriente las fuentes de calorías y las proteínas animales, para cada persona, se encuentran ahora por debajo de los niveles habidos en la anteguerra. La disparidad para los standards de nutrición es ahora mayor que lo era antes y el número de personas que viven, en condiciones de hambre y mal nutrición, es ahora mucho más que fueron antes en la Historia del Mundo. El aumento de la producción agrícola y no agrícola no basta, en la actualidad, para proporcionar los pluses esenciales, si se quiere acometer la industrialización de los países subdesarrollados con el crecimiento acelerado de los recursos nacionales".

El número actual de los humanos, que viven en la indigencia y pobreza inaceptable, ha aumentado y tiende a aumentar más que a disminuir. Así, los resultados combinados del rápido incremento de población en los países más atrasados y su defecto para actuar en su propio beneficio, perjudican gravemente la marcha general del progreso. Aún en la educación, campo donde muchos países subdesarrollados han realizado importantes avances, durante la última década, no han sido estos lo suficientemente buenos. Pese a los es-

fuerzos para enseñar, aumentan, más que disminuyen, el número de analfabetos como resultado del crecimiento de la población.

Los científicos, médicos y biólogos, responsables de la aplicación de la Ciencia a la Salud, las Industrias sanitarias y las Fundaciones filantrópicas, las grandes Agencias internacionales de Sanidad y bienestar como la OMS y el UNICEF, tienen la responsabilidad conjunta de la impresionante y formidable reducción de la mortalidad y del presente desequilibrio entre la mortalidad y fertilidad. ¿Puede suponerse que todos esos agentes del bien pasarán, sin advertirla, por la crisis de nuestro tiempo? No es probable. Podemos en este aspecto ver como la Iglesia Católica, tenida, injustamente, durante tanto tiempo, más bien como conservadora de los antiguos conocimientos del Renacimiento, acaso por la paciencia escolástica de sus Instituciones, se ha puesto a la cabeza de los que aspiran al bienestar universal, una de cuyas premisas es la desaparición del hambre en la tierra, a través del Concilio Ecuménico Vaticano II, que bajo la égida de nuestro Santo Papa Pablo VI, ha estudiado, de manera realista, las vías para la restauración del equilibrio, catastróficamente alterado, entre mortalidad, fertilidad y recursos utilizables. Asimismo, en la Carta Encíclica "*Populorum Progressio*", del mismo Santo Padre, se exponen normas para conseguir este bienestar colectivo, material, intelectual y espiritual, preocupándose, tanto del progreso social, como del crecimiento económico, entendiéndolo como "Economía y técnica no tienen sentido, si no es por el hombre a quien debe servir. El hombre no es verdaderamente hombre más que en la medida en que dueño de sus acciones y juez de su valor, se hace el mismo autor de su progreso según la naturaleza que le ha sido dada por su Creador y de la cual asume libremente las posibilidades y las exigencias". Es preciso restablecer este equilibrio demográfico, que si no se realiza de acuerdo con las normas de la Justicia de Jesucristo habrá de hacerse, violentamente, con los cuatro Jinetes del Apocalipsis: Guerra, Hambre y Peste, con la Muerte para muchos humanos.

## SOLUCIONES AL PROBLEMA

La solución de los problemas que plantea el hambre está pues, principalmente centrada, en el restablecimiento del equilibrio que han roto las condiciones demográficas actuales y en especial, se restablecerá si se incrementa la producción de los recursos. Ello determina uno de los mayores incentivos para la investigación en los campos de la Agricultura y de la Alimentación, a fin de resolver los problemas que plantea el hambre en el mundo, problema que tiende a agudizarse, mientras la población mundial continúe con su rápido incremento, sin contrapartida. Hoy se calcula la población humana en 3.300 millones de habitantes y si sigue en la misma tendencia actual, en 1980 alcanzará 4.300 millones y para el año 2000 se supone llegará a los 6.000 millones. ¿Cómo puede ser suficientemente alimentada esta población tan expansiva? Ahora, como sabemos, grandes proporciones de esta población no están bien alimentados, planteando su nutrición inadecuada el problema sanitario más importante de nuestros tiempos, pues secuela del hambre son los defectos del desarrollo, alteraciones mentales, reducción de la vitalidad y hasta la muerte. Para corregir estos graves problemas, determinados por la expansión de la población, el hombre puede actuar en dos direcciones: 1.<sup>a</sup> reducir el incremento de población, restableciendo así el equilibrio frente a la disponibilidad de productos alimenticios, o 2.<sup>a</sup> incrementar sustancialmente la producción de alimentos, con lo que también se establece el equilibrio frente al incremento de población. En ambas direcciones se trabaja hoy.

La reducción del incremento de población, con las prácticas anticonceptivas, utilizando estrógenos que detienen el mecanismo del crecimiento en el endometrio, o progesteronas que actúan como productores de un estado de embarazo ficticio, ambos sintéticos, contenidos en el comprimido mal llamado "píldora", es una práctica que hoy se usa mucho en los países ultradesarrollados, o más o menos desarrollados de la Civilización Occidental.

Todos los contraceptivos orales producen un embarazo ficticio, porque bajo su acción la mujer se comporta como si estuviera en estado de gestación, no ovula. Normalmente la parte femenina del proceso reproductivo comienza con estímulos cerebrales, que vía hipotálamo, estimulan la pituitaria para segregar las hormonas es-

timulantes del folículo y luteizantes. Estas hormonas actúan sobre el crecimiento de los folículos del ovario, ruptura del folículo y desprendimiento de óvulo. La secreción de la hormona sexual femenina, estradiol (un estrógeno), cambia la célula folicular en el corpus luteum y secreción progesterona. El estradiol influye en el desarrollo del endometrio uterino, la progesterona influye en la preparación del endometrio, para la implantación y soporte nutritivo del huevo fertilizado, impidiendo, al mismo tiempo, el desarrollo de más folículos y óvulos. Los estrógenos naturales y la progesterona segregada por el ovario y después, por la placenta, inhiben la secreción de la hormona estimulante folicular y de las hormonas luteinizantes durante el embarazo, impidiendo así la ovulación. Cuando una mujer no embarazada ovula y no tiene lugar la fertilización, la secreción de progesterona se detiene, la cubierta del endometrio se rompe y se expulsa. Ello es la menstruación. El ciclo entero, en la mujer normal, tiene lugar en 28 días. Los estrógenos sintéticos y las progestinas, en la "píldora", producen el mismo efecto que las hormonas naturales. La diferencia básica estriba en que están modificadas de tal manera, químicamente, que pueden penetrar a través del intestino femenino cuando se toman por la vía oral. Se presentan en el mercado dos tipos de píldoras y tratamientos para el control de la natalidad; combinado y secuencial. En el primero cada píldora contiene estrógenos y progestina, en la secuencial sólo estrógeno, necesitando al final del período del tratamiento píldoras combinadas.

Aunque parece ser que este tipo de control de la natalidad (en los momentos actuales otras formas se encuentran en experimentación y uso), que es el más utilizado hoy, sea inocuo, la OMS se ha pronunciado en que su uso pudiera producir riesgo de diabetes, aumento de la coagulabilidad de la sangre y trastornos hepáticos, no existiendo relación aparente entre la terapia anticoncepcional y el cáncer.

Estas prácticas, muy discutibles en su aspecto moral, no parece sin embargo puedan resolver el problema que nos ocupa. En primer lugar se efectúan en los países más desarrollados, donde hay exceso de alimentos y es difícil su realización en los subdesarrollados, además representa un modo demasiado cómodo y egoísta de pretender resolver un problema, creando otros moralmente más repugnantes, sin tener en cuenta los talentos que podrían originarse y que fallan su nacimiento, los cuales tal vez pudieran resolver mejor esta cues-

tión atendiendo a la segunda dirección antes establecida: aumento de la producción de alimentos.

Es necesario que el mundo aumente sustancialmente la producción de alimentos, si quiere corregir los graves problemas de la nutrición incorrecta. El objeto es no sólo producir más alimentos, sino producir la clase de alimentos más adecuada. En muchos pueblos subdesarrollados los hombres tienen lo suficiente para comer en términos de calorías. El problema estriba en que su dieta contiene un gran porcentaje de granos y muy poca carne, aves, peces y leche u otros alimentos ricos en proteínas de elevada calidad. Entonces, en estos países, el problema parece centrarse en incrementar la producción de alimentos que contengan este tipo de proteínas, con suficiente cantidad de aminoácidos esenciales, como lisina, methonina y triptófano, los cuales se encuentran en las carnes y otras proteínas animales, en gran proporción y son muy escasos en los cereales, tan extensamente usados, como el trigo y el maíz.

Una manera de extender la producción de alimentos sería incrementar la cantidad de tierra en cultivo. Hoy, sin embargo, está en cultivo la mayor parte de la tierra arable que existe en el mundo, 1.800 millones de hectáreas sobre 2.800 millones (muchas de las cuales son extremadamente marginales), por tanto existe la necesidad urgente de incrementar el rendimiento, por hectárea, de la tierra. En los años pasados ello se pudo hacer con un mayor uso de los fertilizantes y pesticidas. Puede hacerse también aumentando la extensión de los regadíos, mejorando el trabajo del campo, perfeccionando la maquinaria agrícola, etc.

#### ESTACIONES EXPERIMENTALES AGRICOLAS

La mayor parte de las prácticas que conducen a una mayor producción de alimentos ha surgido, en las naciones ricas, a través del establecimiento de las Estaciones Experimentales. Es lo cierto que su desarrollo ha contribuido enormemente al éxito económico de Norteamérica y de todo el mundo. Ellas han determinado abundancia en alimentos y fibras textiles a precios razonables. Además han

contribuido al desarrollo de la maquinaria y procedimientos que han posibilitado que el trabajo del campo se conecte con industrias que produzcan mejores cosas para el consumo. Se supone que gran parte del desarrollo total de USA resulta de la evolución de la idea de la Estación Experimental.

Se crearon las Estaciones Experimentales en Estados Unidos por el Acta de Grant, que fue ley en 1862. Fueron esos centros entonces las primeras autoridades legales, con recursos cooperativos, para desarrollar un sistema agrícola nacional a través del concepto de que los problemas del campo son predominantes en la relación del hombre con la naturaleza y requieren para su solución conocimientos científicos. La Estación Experimental puede ser progresiva, cuando existen en ella científicos cualificados que realizan experiencias sistemáticas, de laboratorio y campo, diseminan la información y demostración, para extender los resultados obtenidos en el laboratorio y envuelven totalmente la aplicación de las experiencias teóricas a todos los campos, difundiendo su aplicación por los canales de la enseñanza y de la extensión agrícola. Al principio fue motivo de discusión si las Estaciones Experimentales utilizarían sus recursos científicos en apoyo del punto de vista del labrador, actuando directamente sobre los problemas del campo, o seguirían un camino científico sobre puntos de vista experimentales, independientes de la presión local.

Atwater, uno de los primeros agricultores científicos, apoyó este punto de vista, considerando que la producción científica es cosa de vida o muerte para el movimiento de una Estación Experimental. Atwater propuso la formación de un comité de estudios para el desarrollo de las Estaciones, quien estableció en términos definidos que "La utilidad futura de una Estación Experimental dependerá del valor permanente de los descubrimientos que surgen de sus investigaciones abstractas y profundas". El olvido de este hecho puede ser fatal. En conexión con este concepto, uno de los microbiólogos pioneros, el gran Flexner, puntualizaba que "la investigación más útil, surge generalmente de la experiencia que parece ser menos útil".

A finales del siglo pasado se produjeron dos tendencias sobre el significado de la Estación Experimental, ambas en la Estación Experimental de Nueva York, por Roberts y Jordan. Roberts creía que una Estación tenía que dirigirse hacia la instrucción rural, resolviendo sobre todo las necesidades del campo. Jordan por otra parte sos-

tiene la idea de preponderancia de la investigación y descubrimientos científicos, así como la "individualidad independiente" para cada Estación, lo cual supone asimismo un concepto aplicable al individuo científico, al que permite un alto grado de libertad. Desgraciadamente este concepto está aún hoy ausente en muchas instituciones a través del mundo. Jordan podía suponer, en su tiempo, que la capacidad de la agricultura progresiva podría asimilar los hallazgos científicos que constituyera reales beneficios para ella. Este concepto debe, sin embargo, ser cualificado, ya que depende del grado de educación de la unidad política. Hoy existe una cantidad enorme de información agrícola, tanta, que una Nación en desarrollo sólo puede aplicarla según las condiciones particulares del país y del tiempo. Así, en cualquier Nación en desarrollo sólo pueden utilizarse, si se quiere conseguir éxito, los conocimientos que estén a nivel de su capacidad, sentando las bases para un desarrollo inmediato, que puede ser más o menos rápido. En estos países debe planearse la investigación de tal modo, que en períodos de tiempo de 5, 10 ó 15 años se desarrollen y transmitan los conocimientos y experiencias del técnico entrenado y sentar así las bases del futuro.

Es muy importante que en una Estación Experimental existan investigaciones originales, cuyos beneficios sean utilizados para los propósitos especiales de la Agricultura del país. El científico debe tener en ellas libertad de iniciativa para desarrollar la investigación hacia lo que crea más interesante, mientras que la posición gubernamental debe ser de cooperación y no de dirección. Este concepto de True abre el camino para la evolución de un sistema del que resulta libertad para los investigadores de la Estación, con una cooperación máxima entre los técnicos del campo (Ingenieros) de una parte y la oficina del Estado de otra. Este modo de hacer las cosas en USA ha permitido el tremendo avance de su agricultura y ha sido allí también muy interesante que las Estaciones Experimentales se hayan conectado con la Universidad y con el Servicio de Extensión Agrícola, unificando cerradamente en estos grupos la conexión íntima ante la investigación, hecho importante para todos, porque posibilita la realización de un programa de investigación de amplio espectro, discriminación de la investigación y educación del labrador de la manera más efectiva. Con ello se ha producido un cambio muy marcado en el nivel de la investigación agrícola, de la enseñanza y de la actividad de su extensión. En otras palabras, las Estaciones Experimen-

tales han operado en los Estados Unidos, de tal manera, que constituyen una importante base de sus elevados niveles en Educación y Economía.

Se corre sin embargo el riesgo que, ante el gran éxito de las experiencias de producción agrícola, decaiga en el país el interés en apoyar esta investigación. Es verdad, que cuando surge una emergencia se clama por ella, así ocurre cuando se produce una virasis de extensión rápida, pero después de resuelta, vuelven las aguas mansas hasta que surge la nueva crisis. El éxito de la investigación agrícola presenta muchos aspectos laterales que tienden a neutralizar los resultados beneficiosos, tales como los efectos nocivos de los agentes químicos utilizados para la restricción de los Insectos o los procedimientos que llevan a la esterilización completa de las conservas cárnicas, que reducen gravemente el valor alimenticio de sus proteínas.

#### INCREMENTO DE PRODUCCION

En parte, el problema de aumentar el rendimiento de las cosechas podría resolverse por los químicos y los ingenieros. El desarrollo y producción de más y mejores fertilizantes, pesticidas y promotores del crecimiento vegetal, podría determinar un fuerte impacto en el aumento de la producción de alimentos. Hemos de consignar que aún no han sido resueltos todos los problemas científicos y técnicos para la mejor fertilización de los campos. Los químicos trabajan constantemente en relación con el hallazgo de mejores fertilizantes y de sus fórmulas de combinación más adecuadas, así como en el sentido de retener, en el suelo, los fertilizantes solubles que desaparecen con el lavado de las lluvias y riegos, especialmente el Nitrógeno; para ello se ha producido un compuesto 2-cloro-o (triclorometril) piridina que retarda la pérdida de Nitrógeno fertilizante cuando está presente como amonio. Lo lleva a efecto por la inhibición del desarrollo de las bacterias que oxidan el amonio (que no es lavado en el suelo) en Nitratos (que si son lavados en el suelo), de tal manera, que cuando se usa este compuesto, incorporado al fertilizante amoniacal, hay menos pérdida de Nitrógeno y como resultado mejora bastante el crecimiento de la planta.

También mejoran los rendimientos de las cosechas las acciones efectuadas para contrarrestar los efectos de los agentes biológicos perniciosos, y así están en activa investigación una amplia gama de pesticidas para controlar insectos, semillas, hongos y otras amenazas agrícolas. Los científicos estiman que en USA los insectos destruyen el 12 por 100 de la cosecha de maíz y el 19 por 100 de la cosecha de algodón. Se buscan nuevos insecticidas con efectos letales para una amplia gama de insectos indeseables, que a su vez no sean peligrosos para los otros tipos de vida, a causa de que muchas especies de insectos han mutado a formas resistentes a la acción del DDT, dieldrin y parathion, entre otros, y es preciso descubrir nuevas sustancias químicas que los reemplacen. Después veremos como los llamados insecticidas microbianos podrán acaso resolver este problema.

Uno de los resultados más excitantes y prometedores para la química agrícola, ha sido el reciente descubrimiento de compuestos que cambian los esquemas del crecimiento fundamental de los vegetales y en esta dirección, los científicos de la Universidad del Estado de Iowa, han descubierto que el ácido 2-3-5-triiodobenzoico altera marcadamente el crecimiento de la soja, haciendo desarrollar más compactamente las plantas, con menos aptitud para tumbarse, de lo que resulta un incremento muy notable para la cosecha.

Se ha centrado también el interés para encontrar sustitutivos de la carne. El precio de este alimento va aumentando, por lo que en un futuro próximo pueden ser útiles sus sustitutivos preparados con proteínas vegetales, tales como la soja o las levaduras. Ya existen en el mercado americano cierto número de sustitutos de la carne, en forma de una variedad de productos derivados de la soja, que parecen rosbifs, jamones, pollos fríos y salchicha de cerdo, con la ayuda de sustancias químicas que modifican el sabor, aroma y color, los cuales tienen además un carácter emulsificante, conservadoras y antioxidantes, etc., y actúan mejorando las técnicas de manufactura que conducen a dar, a los productos finales, la forma, textura y otras propiedades de los verdaderos alimentos sustituidos, más apetecibles para el consumidor.



## PAPEL DE LOS MICROBIOS

Aparte de estas direcciones de la investigación, que tienden a conseguir más recursos alimenticios para una población humana, desbordada en su desarrollo, en línea logarítmica, existe otra dirección, ya insinuada a lo largo de todo lo dicho y que nos va a ocupar primordialmente esta disertación. ¿Qué papel van a desempeñar los microbios en la solución de estos problemas? Tal vez uno de los más importantes y acaso esté en estos pequeños organismos la clave de la comida de una humanidad, fuertemente incrementada, sin necesidad de acudir a técnicas o prácticas que conduzcan a una disminución de los nacimientos que va contra el mandato divino: Creced y multiplicaros, cubrid la superficie de la tierra y someterla a vosotros.

Los Microbios son los mejores amigos del hombre y también sus más crueles enemigos, aunque este concepto haya tardado más de un millón de años en conocerlo. El hombre, hasta por los años 1600, era ciego. No conocía aún el telescopio con que ha explorado el Cosmos, ni el microscopio, aparato con el que comenzó a comprender los efectos que tenían sobre él los microbios. Desde el descubrimiento de este aparato, por Leuwenhoeck, supo el hombre la existencia de plantas microscópicas, tales como bacterias y hongos, que enriquecen los suelos para que crezcan las plantas que le sirven de alimento. Con su bondad, estos seres tan diminutos fermentan las bebidas que agradan su paladar, destruyen sus residuos de desecho, que le estorban en gran manera, transformándolos en elementos fertilizantes y algunos hongos macroscópicos le proporcionan alimentos valiosos para variar su dieta. Pero, por otra parte, observó la existencia de otros microbios que destruyen sus cosechas, atacan sus plantas útiles, pudren sus alimentos descomponiéndolos desagradablemente, enferman sus animales domésticos y atacan aún su propia vida proporcionándole invalideces y enfermedades mortales. El hombre ignoraba los microbios aún mucho tiempo después de que se hubiera civilizado lo bastante para domesticar plantas y animales, para trabajar piedras y metales, para desarrollar la navegación y el comercio, para construir grandes ciudades, sentar las bases de la ciencia y establecer sistemas filosóficos que aún son objeto de estudio en nuestras Universidades. "La Gloria que era de Grecia y la Grandeza de Roma" no incluían el conocimiento del vasto mundo de los Microbios. Aún considerando

a las setas como "hijos de los Dioses", porque no germinan desde semillas visibles y aún siendo la delicia de los epicúreos, su origen era tan misterioso, que se atribuían producidas por los Dioses u originadas directamente por la humedad. No constituía sin embargo un peligro particular, tanto la ignorancia del origen de las setas, como la ignorancia del origen y naturaleza de la Infección, que repetidamente, en forma de epidemias, atacó su civilización y aún su propia existencia. 25 millones de humanos sucumbieron en Europa durante la Peste negra en la Edad Media y 13 millones en China. La ignorancia del hombre se pagaba a un alto precio.

Pero aunque hasta la mitad del siglo XIX, con Pasteur y Koch, no se llegara a conocer la causa de la infección, el hombre solamente ha usado y conocido los microbios con inteligencia científica desde hace 75 años, intentando beneficiarse con los buenos y combatir los malos. En su constante rebusca, encuentra y selecciona entre las más de 100.000 especies conocidas de Bacterias, Levaduras y Mohos, aquéllos que enriquecen sus suelos, producen mejores alimentos y bebidas, sintetizan vitaminas como suplemento de la alimentación, se utilizan en diferentes procesos industriales que determinan la formación de solventes y otras sustancias de utilidad química o farmacológica y producen antibióticos, vacunas y sueros que curan y previenen las enfermedades del hombre, animales y vegetales. Durante los últimos 50 años ha utilizado, la humanidad, las fermentaciones industriales para producir anualmente millones de kilos de Ácidos orgánicos, usados para la preparación de medicamentos, para producir colorantes, textiles y plásticos y para aromatizar alimentos y bebidas. De los hongos, levaduras y bacterias se han conseguido enzimas, que utilizados en la industria, transforman almidones en azúcares, rompen las proteínas complejas, actúan en la preparación de las fibras textiles, clarifican los zumos de frutas, vinos y jaleas y previenen la turbidez de las cervezas. El hombre conoce hoy el modo de hacer trabajar a los microbios, sometidos a su poder, en numerosos procedimientos industriales para conseguir multitud de productos útiles.

La alimentación del hombre civilizado depende primordialmente de los medios naturales y del agua. El suelo no es un organismo inerte, porque en cada partícula agrícola existen millares de Bacterias y otros microbios. Unos descomponen los residuos vegetales para incorporarlos al suelo y otros son parásitos de las plantas útiles, algunos son beneficiosos para los otros, mientras que otros son anta-

gonistas. Existen bacterias en el suelo que fijan el Nitrógeno de la Atmósfera, cambiándolo de tal forma, que pueda ser utilizado, por las plantas, si se contaminan artificialmente sus semillas, para rendir mayores beneficios en las cosechas. Otros microbios actúan movilizandofertilizantes fijados al suelo.

Desgraciadamente existen otros muchos microbios que crean problemas para la existencia humana, actuando sobre animales y vegetales útiles y sobre las fuentes de alimentos conservados. Como los factores principales del hambre y desnutrición entre los pueblos subdesarrollados y atrasados, son las enfermedades en vegetales y animales y la descomposición microbiana de sus productos, se investiga para conocer mejor lo que son esos seres destructores, como actúan y el modo de controlarlos. Cuando los microbiólogos aprendamos lo necesario para conocer las centenares de clases de microbios que amenazan nuestros recursos alimenticios, será posible controlarlos con más facilidad, desarrollando plantas y animales genéticamente resistentes a la enfermedad, protegiéndolos contra la misma con dosis homeopáticas de antibióticos, u otras drogas y descubriendo nuevos modos de usar los microbios buenos para eliminar los destructores. El ejemplo del descubrimiento de la Penicilina y otros antibióticos es demostrativo en este aspecto y hoy, los antibióticos, no se usan solamente para curar enfermedades, sino para conservar alimentos, para engordar animales y aún se obtienen vitaminas como subproducto del proceso industrial de su fabricación. El uso futuro de los antibióticos es aún más prometedor.

La microbiología puede, para el futuro, mejorar y salvaguardar la producción de alimentos enseñando como combatir mejor los enemigos de las cosechas y sus productos. Los microbios serán usados, más y más, para incrementar la fertilidad del suelo, estimular y controlar el crecimiento animal y vegetal y combatir las enfermedades en animales, vegetales y semillas. Los microbios aseguran futuras fuentes alimentarias y así, las Algas, serán usadas para producir alimentos, o alimentar directamente cuando el suelo no baste. Las Levaduras y otros fermentadores producirán proteínas, grasas, Vitaminas y azúcares, que sustituirán a los alimentos del campo, o los suplementarán y en vez de dejar actuar a los descomponedores de alimentos, se obtendrán productos de otros microbios que los preservarán de su acción nociva.

La microbiología puede ser esencial para subvenir las necesida-

des humanas más elementales: alimentación y salud. Más de la mitad de la población humana, hemos dicho, sufre hambre y enfermedad y es importante ahorrar su sufrimiento.

La producción de alimentos puede incrementarse, en un 25 por 100, en la mayoría de los países desarrollados y en un 50 por 100 en los demás, cuando se utilicen métodos adecuados para controlar las pestes y patógenos de alimentos y cosechas, antes y después de la recolección. Aunque los productores de peste sean Insectos y no Microbios, son muchos de ellos agentes de diseminación e inoculación de patógenos y será el modo mejor de suprimir la acción de éstos últimos si actuamos sobre los portadores. El planteamiento de los programas de Sanidad, para las plantas, demanda la presencia del microbiólogo. No hay modo factible y económico de controlar alguna de las más devastadoras enfermedades de la producción más interesante del mundo, como el trigo y el arroz, sino la creación de variedades resistentes. Desgraciadamente, sin embargo, en muchos países en desarrollo, se inician costosos programas de alimentación sin la necesaria información sobre los agentes patógenos a los que se presume resistirán las nuevas variedades sembradas. Estos planes necesitan conocer de sus patógenos vegetales y el modo de combatirlos, si se quiere incrementar y asegurar la producción de alimentos.

Muchos países precisan urgentemente no sólo más alimentos, sino más clases de alimentos. La carne y otros productos animales, están deplorablemente ausentes en ellos. Aquí es esencial también la contribución del microbiólogo, tanto directa, como indirectamente. Indirectamente, a medida que se incrementa la producción vegetal por unidad de superficie, existirá más campo para la alimentación animal y podrá añadirse más carne, leche y huevos a la dieta básica de arroz, trigo y maíz u otros productos primarios del suelo. Directamente es indispensable el control sanitario sobre las enfermedades de los animales, para mejorar la cantidad y calidad de sus productos.

## MICROBIOS Y FERTILIDAD

Un aspecto interesante de la intervención de los microbios para producir más alimentos se refiere a su papel fertilizante de los cam-

pos. Los microbios actúan, precisamente, en el ciclo natural de los elementos primordiales para la vida y constituyentes del protoplasma y allí, en el suelo, realizan como consecuencia de sus actividades metabólicas una serie de efectos que redundan en beneficio de las plantas, poniendo a su alcance productos inmejorables para incrementar el rendimiento de sus cosechas. La fijación del Nitrógeno atmosférico, paso por el que los organismos fijadores, que viven libremente en el suelo, o en simbiosis sobre ciertas plantas, que coadyuvan al proceso, transforma en proteínas el nitrógeno inerte del aire que nos rodea, tan difícil químicamente de combinar. La movilización de los fosfatos insolubles, solubilizándolos, para que puedan ser absorbidos por la raíz de las plantas, la movilización y fijación del hierro y del manganeso, la descomposición de la materia orgánica inerte para formar humus y estiércol, con desprendimiento de anhídrido carbónico, que esponja los suelos y volverán a fijar después los vegetales verdes con su función clorofílica y los procesos de transformación del Nitrógeno amoniacal desprendido de la materia orgánica, en nitrógeno nítrico soluble y asimilable, son fenómenos realizados por los microbios en beneficio del desarrollo de los vegetales y objeto, al mismo tiempo, del interés de la investigación científica en estos últimos tiempos.

La población microbiana del suelo es muy variada y en él se encuentran todos los tipos de microorganismos animales y vegetales: Bacterias, Actinomicetos, Hongos, Algas y Protozoos, que juegan un importante papel, aún no conocido en todas sus partes. El balance y proporción entre estos organismos tiene importancia para la productividad. En los terrenos bien cultivados se calcula un peso entre 300 y 3.000 Kg. de Bacterias vivas por hectárea. En los campos estercolados, el desarrollo diario entre bacterias y protozoos, está inversamente relacionado. Un grupo aumenta mientras el otro decrece. Los Protozoos son, pues, factor clave para limitar el número de Bacterias del suelo, posiblemente porque reducen la abundancia de células y actúan así como antagonistas biológicos para mantener el equilibrio.

Se sabe que los fertilizantes animales son medios excelentes para aumentar el rendimiento de las cosechas, pero no todos los países son capaces de producir los compuestos de este tipo que precisan y como su costo es elevado, su uso queda entonces limitado. Esta carestía hace que no sea posible, a los países subdesarrollados, conseguirlos en cantidad suficiente, por lo que para ellos, es de capital

importancia utilizar, en la fertilización, las fuerzas naturales de los suelos. Se ha expresado la idea de que el desarrollo de la química agrícola hace menos significativo el factor biológico. Este punto de vista es erróneo. Los fertilizantes minerales podrán compensar la deficiencia de nitratos en el suelo, pero no previenen el uso de los elementos nutritivos, de las reservas del suelo, creados por los microbios.

El empleo de los procesos biológicos posibilita el uso, más económico, de los fertilizantes universales y así se puede reducir el costo de los productos agrícolas. Ante todo, la Microbiología puede ayudar a la Agricultura resolviendo los problemas del Nitrógeno del suelo, cuya presencia o ausencia, puede determinar el grado de los rendimientos. Por el efecto combinado del *Clostridium* y *Azotobacter* se estima una ganancia en Nitrógeno, por hectárea, de 20 a 50 Kg. en los suelos incultos.

Existen, al menos, dos direcciones prácticas para mejorar el desarrollo de las plantas y su rendimiento, por métodos microbiológicos. Ambas conciernen: 1.º con el incremento del uso de nutrientes vegetales, inorgánicos y orgánicos y con la protección de los vegetales y animales, para prevenir las pérdidas de cosechas a través de enfermedades, y 2.º con los procesos de descomposición bacteriológica. La diferencia esencial es, que en el primer caso, los efectos se deben a la acción masiva de los microbios del suelo o de la rizosfera, como resultante de la adición de materia orgánica, así como a la actividad específica, en los casos particulares, de gérmenes como *Rhizobium*, *Azotobacter*, movilizadores del fósforo, etc., mientras que el segundo implica medidas técnicas o sanitarias, que atienden la producción y conservación de productos agrícolas y ganaderos y a la fermentación.

Es interesante el estímulo de la población microbiana del suelo para rendir mayores cifras de nitrógeno o fósforo asimilable y mientras es obvio que las diferentes prácticas agrícolas, tales como el incremento de la aireación en los suelos duros y húmedos, o la conservación de la humedad del suelo, durante el verano, sirven también para estimular la actividad microbiana, el aumento de la materia orgánica y del nitrógeno, en los suelos, constituye el tratamiento más importante para inducir cambios significativos en su fertilidad y mantenimiento en el más alto nivel. Los suelos pobres o exhaustos están carentes de ambos.

## CICLOS Y FERTILIDAD

Los ciclos del Carbono y del Nitrógeno pueden actuar concatenadamente, tanto en beneficio como en perjuicio de la planta y no deben considerarse separadamente. La adición de materia orgánica afecta profundamente las condiciones físicas del suelo, con ventaja para la planta y microbios y en forma de abonado en verde, puede proporcionar la energía y nutrientes convenientes a su desarrollo microbiano explosivo, resultando, eventualmente, la liberación de N, P, S, Fe, Mn y otros elementos. El  $\text{CO}_2$ , resultante de la actividad microbiana, se utiliza para la fotosíntesis y es factor esencial de la solubilización de minerales en el suelo. La materia orgánica fresca también incrementa la velocidad de descomposición de los residuos orgánicos humificados, más difícilmente descomponibles, con la separación concomitante de los nutrientes vegetales retenidos por ellos. Estos efectos se deben, primordialmente, a una acción masiva, no especial, de la micropoblación del suelo, rejuvenecida por la provisión de alimentos y de energía. Si la relación C/N resultante es mayor de 30 (como ocurre cuando se añade paja al suelo como fertilizante) el Nitrógeno se liberará en forma de  $\text{NH}_4$ , desprendiéndose al suelo, donde será rápidamente utilizado, asimilándose rápidamente en forma de proteína bacteriana y se inmovilizará. La amonificación es muy baja, permanece el nitrógeno utilizable en el suelo y los vegetales sufren las consecuencias. Sin embargo, cuando la relación C/N es menor de 15/1, el Nitrógeno aparece en exceso a los requerimientos de los microbios del suelo y el amoníaco resultante de la desintegración protéica se utiliza, bien directamente por las plantas, bien después de su nitrificación, porque la presencia de amoníaco inicia la actividad de los nitrificantes y es el nitrato más fácilmente asimilable para formar el Nitrógeno vegetal. Desgraciadamente, los Nitratos son muy solubles y pueden perderse, por lavado más, fácilmente que el amoníaco. Además, en los suelos encharcados o saturados de agua, puede ser oxidado por efectos microbianos y transformarse en Nitrógeno gas, que se pierde en la atmósfera, al actuar las Bacterias desnitrificantes, contrariamente a las fertilizantes. Los materiales orgánicos, sin embargo, modifican este proceso como donadores de Hidrógeno, favoreciendo además la aireación del suelo, con lo que se

alivia aún más la situación, al mantener, de este modo, el nivel de Nitrógeno conveniente para la planta.

La actuación de los inhibidores de la nitrificación se usa para conservar el nitrógeno liberado por la materia orgánica, en descomposición, en forma de  $\text{NH}_4$  previniéndose así las pérdidas de Nitrógeno, porque el amoníaco entra en el complejo de intercambio del suelo y no es tan fácilmente eliminado ni oxidado. Generalmente, la planta, prefiere el nitrógeno nítrico, aunque probablemente usa amoníaco cuando no tiene nitratos disponibles.

Paralelamente al ciclo del Nitrógeno, transcurre el ciclo del Fósforo. De una amplia razón C/P resulta la inmovilización del fósforo, mientras que una estrecha razón C/P rinde fósforo inorgánico, utilizable por la planta. Así, está claro, que la adición correcta de materia orgánica al suelo, inicia una cadena de reacciones que pueden ser enormemente beneficiosas para la planta, para el agricultor y eventualmente para el consumidor.

## MATERIA ORGANICA Y FERTILIDAD

¿De dónde y cómo se puede conseguir esta materia orgánica? Las leguminosas son probablemente su mejor fuente. El abonado en verde, con ellas, es muy valioso en ciertas situaciones, pero su uso también presenta inconvenientes, entre ellos el costo de la mano de obra para realizar el enterramiento con el arado, superior, acaso, al de los fertilizantes comerciales. Otra fuente es el estiércol, de gran valor fertilizante. También puede conseguirse esta materia orgánica de residuos alimenticios en descomposición, tales como paja, hojas, tallos, etc. El bajo contenido en Nitrógeno de estos materiales puede compensarse, durante su descomposición, por la adición de suficiente Nitrógeno (en forma de  $\text{SO}_4$   $(\text{NH}_4)_2$ ) que supla las necesidades microbianas. La desconmensurada conversión microbiológica y la acumulación de material orgánico (como tallos, turba, etc.) en forma conveniente, para transformarlos en estiércol, podría ser de enorme valor para la agricultura y significa una línea de investigación para la solución del hambre en el mundo.

Y no sólo la materia orgánica añadida al suelo es útil en la fertilización, sino que puede ser muy interesante para la prevención de enfermedades de las plantas, transmitidas por el suelo. El enorme incremento del uso de los pesticidas, herbicidas y otras sustancias químicas, en la Agricultura, es posiblemente perjudicial para las actividades microbianas del suelo, como ya hicimos notar nosotros en nuestras comunicaciones al Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo celebrado en París en 1956, y por tanto a su fertilidad. Su posible absorción, por las plantas, hace considerar los efectos tóxicos directos sobre alimentos y vegetales. Es necesario, pues, actuar con el fin de posibilitar rápidamente, por la vía microbiana, la descomposición de algunas de estas sustancias que persisten en los suelos, durante largos períodos, produciendo efectos desfavorables sobre las cosechas, ya que reducen los rendimientos del vegetal.

Importa el abonado orgánico, también a la prevención biológica, con el fin de evitar el desarrollo de gérmenes peligrosos, en el suelo, o patógenos de plantas. El uso de materiales orgánicos convenientes puede servir para un control, o al menos modificar el ambiente en el suelo, estimulando la aparición de gérmenes antagonistas. Así, la harina de soja, o la sangre desecada, previenen eficazmente la putrefacción radicular de las fresas. El estiércol de caballo se ha usado con éxito contra la putrefacción radicular producida por los hongos del Género *Phymatotrichum* y diferentes sustancias orgánicas pueden reducir pérdidas en los cereales debidas a *Helmintosporium sativum*, *Fusarium*, etc. El mecanismo de control, aún no bien conocido, incluye indudablemente todos los fenómenos de la lucha por la existencia, en una situación ecológica muy compleja, grandemente aumentada por el desarrollo masivo de la microflora del suelo, después de la adición de materia orgánica, producción de antibióticos, competencia alimenticia, parasitismo, etc. Hay sustancias específicas que estimulan la germinación de las esporas de los Hongos, a lo que sigue la lisis del micelio formado. La adición de quitina favorece el desarrollo de las bacterias micolíticas del suelo, activas contra *Fusarium oxysporum*, un patógeno vegetal ampliamente distribuido y económicamente importante. También la materia orgánica puede estimular el desarrollo de los Hongos del suelo, predadores de Nematodos.

El Nitrógeno biológico es un fertilizante económico. Aún en Europa Occidental, donde se usan ampliamente los fertilizantes mine-

rales, no más del 50 por 100 de las necesidades del Nitrógeno se cubren con el N mineral o técnico. El resto se suple por los microbios. En la actualidad, se han acrecentado nuestros conocimientos de los Microbios fijadores de N y como resultado de un gran trabajo experimental, podemos afirmar que son muy importantes, desde el punto de vista agrícola, las bacterias simbióticas de las leguminosas. Ello constituye una dirección de trabajo de nuestro laboratorio, en la Estación Experimental del Zaidín.

Además de la fijación del Nitrógeno, existen otros problemas de la Química agrícola, referentes a la fertilización de los suelos, que se relacionan con la Microbiología. La inmovilización de diferentes elementos nutritivos, para las plantas, envuelve la participación de los microbios y estas pérdidas de fertilizantes pueden atenuarse cuando se utilizan métodos microbiológicos adecuados. También usamos de los Microbios para determinar los requerimientos fertilizantes de un suelo. Pruebas con *Azotobacter* nos indicarán la deficiencia en Fosfato y Potasio y ciertos hongos, como *Aspergillus niger* y *A. orizae*, *Cumminghammella* y *Trichoderma*, se usan como indicadores de fosfatos, Boro y Manganeso. El empleo intensivo de herbicidas, fungicidas y pesticidas lleva a considerar los modos y velocidad de descomposición microbiológica de estos productos tóxicos, en el suelo, aunque no están totalmente resueltos, ni desde el punto de vista experimental, ni desde el punto de vista práctico, los problemas que plantean estas cuestiones.

La necesidad de fertilizantes orgánicos origina cuestiones de gran importancia para muchos países. El problema de preparar estiércoles y mantillos de alta calidad sólo puede ser resuelto sobre bases microbiológicas y precisa trabajarse en esta dirección, utilizando diferentes materiales humificables, de acuerdo con las distintas circunstancias de la situación agrícola.

## CONSUMO DE NUTRIENTES

El consumo de Nitrógeno, en los campos del mundo, se ha incrementado desde 720.000 toneladas, en 1913, hasta 13 millones de las

mismas en 1962. Se calcula que aproximadamente 1/6 de la población del mundo depende, para sobrevivir, del Nitrógeno artificial químico. Puede presumirse fácilmente que los suelos, a través de los residuos que descomponen y los microbios fijadores, cuidarán de más de la mitad de los 3.000 millones de personas que habitarán el mundo al final de la presente centuria. Ello supone que, para esas fechas, el mundo necesitará, para la supervivencia humana, no menos de 50,5 millones de Tm. de Nitrógeno. Teniendo en cuenta las mismas necesidades de Potasio y Fósforo y el correspondiente peso de los fertilizantes comerciales, se requerirán entonces 500 millones de toneladas por año, es decir, más del peso total de la raza humana calculada para aquel tiempo, con la complicación que supone el transporte de estas fabulosas cifras. Ello sin tener en cuenta las necesidades de Cal, Azufre y otros elementos traza.

Los investigadores japoneses modernos han estudiado extensamente el cultivo en masa de las algas azul-verdosas, ya que se presume que la elevada fertilidad de los arrozales de la India y otros lugares de Asia, se debe, en parte, al menos, a la actividad fijadora de Nitrógeno de estas Algas. Mi discípulo, el Catedrático de la Universidad de Sevilla, Prof. Montoya, ha iniciado una investigación en este sentido, tendiente a mejorar los rendimientos de los arrozales del bajo Guadalquivir. Watanebe y sus colegas, en 1959, construyeron un pequeño aparato para el cultivo del *Tolypotrix tenuis* que se aisló, originalmente, en los arrozales de Borneo. Este aparato consume agua caliente, procedente de fuentes termales y gas natural como fuentes de calor y Anhídrido carbónico respectivamente y sus resultados confirman que puede producirse un cultivo continuo de estas algas durante todo el año. El funcionamiento del sistema, durante este tiempo, proporciona suficientes algas para inocular 390 hectáreas de arrozal con el propósito de cambiar su microflora, aumentando así las cosechas de arroz.

Las elevadas cosechas de cereales consumen alrededor del 10 por 100 del fósforo contenido en los 15 centímetros superiores del suelo fértil. Los suelos tropicales pierden aún cifras más elevadas de este elemento, las cuales se recuperan después de pasar mucho tiempo. Una tarea del microbiólogo, en beneficio de incrementar la producción de alimentos, es su contribución vital para la movilización del fósforo asimilable. El ciclo del fósforo difiere fundamentalmente de los ciclos del Carbono, Nitrógeno y Azufre, en que no existen

canales naturales para la reposición de las grandes pérdidas anuales que consumen los vegetales. Aproximadamente un 3 por 100 se restablece con el guano de las aves, pero ello sólo ocurre en determinados países. Las pesquerías mundiales consiguen alrededor del 1 por 100 y de esta cifra sólo una pequeña parte se mueve alrededor del ciclo del fósforo. Los agricultores concuerdan en que el fósforo es el recurso crítico, limitante, para el funcionamiento continuado y normal de la biosfera, su provisión es muy pequeña y limitados sus depósitos. Se supone que los recursos mundiales de fósforo cubrirán solamente las necesidades durante 100 años, aunque esta cifra puede disminuir porque va incrementándose el consumo de este elemento y será preciso habilitar la explotación de los recursos oceánicos. La contribución microbiológica para la movilización del fósforo, inorgánica u orgánicamente fijado, es del más elevado interés ante estas perspectivas y nosotros mismos, desde la Estación Experimental del Zaidín, realizamos nuestra línea de investigación en esa dirección.

El Calcio, Magnesio, Potasio e Hierro, muestran el mismo esquema cíclico del fósforo, pero los recursos para su reposición son mucho mayores, por lo que no constituyen problema tan crítico como el del fósforo.

El azufre, formador de aminoácidos esenciales para la vida en forma de methionina, cistina y cisteína, es sustancia clave para la alimentación. Aproximadamente la quinta parte de la proteína de la leche que se consume tiene Azufre en su molécula. También contienen azufre la thiamina, biotina, ácido lipóico y Vitamina A. La conservación del azufre elemental se verifica por la flora intestinal, vía sulfato, penetrando el azufre otra vez, en los tejidos, en forma de cistina y methionina. Los tejidos de los polluelos son capaces de transformar el azufre inorgánico en orgánico. La methionina es indispensable para los fenómenos de transmetilación y junto con la colina constituyen los puntos clave para el metabolismo de las grasas. Es bien sabido que existen una íntima relación entre el valor nutritivo de una proteína y su contenido en azufre. También se sabe que podemos mantener y elevar el nivel de los aminoácidos azufrados de los alimentos con el uso de fertilizantes azufrados. El Azufre está intrínsecamente envuelto en la síntesis de las proteínas y en la utilización instrumental del fósforo. Desde el punto de vista microbiológico, es notable, que diferentes setas que se consumen en Escandinavia, Rusia y Europa Central, constituyen ricas fuentes de amino-

ácidos azufrados, mientras que los cultivos de Levaduras y otros Microbios, parecen mostrar las mismas deficiencias que los alimentos convencionales. La mayor parte de los hongos hifales también son deficientes, aunque ciertos *Aspergillus*, como el *nidulans* y *oryzae*, *Geotrichum lactis* y *Penicilium flavoglaucum* y *rochefortis* constituyen buenas fuentes de proteínas para las ratas con dieta pobre en azufre. Las bacterias sulfatorreductoras, que aparecen como habituales en el rumen, proporcionan azufre reducido para la biosíntesis de los aminoácidos azufrados. También se hallan en el intestino de los Termitas.

Se conoce hoy bastante bien el ciclo del Azufre. Grandes fracciones de azufre son excedentes de origen marino, que escapan del mar, en forma de  $H_2S$ , atribuyéndose a la plataforma continental, con su fuerte lodo reductor azul, por la acumulación de la materia orgánica, en los fondos, las condiciones anaerobias que favorecen la reducción de  $SO_4^{++}$  a  $SO_2^+$ . Estas condiciones existen especialmente en el Mar Negro, cuyo fondo está desprovisto totalmente de Oxígeno, pero contiene apreciable cantidad de  $SH_2$ . En las mismas condiciones se encuentra la fosa del Sureste Africano. La polución sulfurosa de las aguas trae el desarrollo de las bacterias sulfatorreductoras. El azufre, formado por actividades bacterianas, es substrato de las coloreadas sulfooxidantes y éstas transformaciones permiten su fácil asimilación y conversión en azufre orgánico.

#### RELACIONES PLANTA - MICROBIO

Otro de los puntos que el microbiólogo puede investigar, en beneficio de la solución del problema del hambre, se encuentra en las relaciones, entre planta y microbio, durante el desarrollo de la planta. En la zona del sistema radicular se centran fenómenos biológicos del más alto interés, tanto en relación con la formación de compuestos nutritivos y fertilizantes, como en la interacción planta-parásito. La relación entre la raíz y la flora de la rizosfera, así como la cuestión de en cuanto los organismos de esta son beneficiosos para la planta, son materias muy interesantes para la Microbiología del suelo actual.

Es posible influir sobre el desarrollo de la población microbiana de la rizosfera bajo el influjo de factores ambientales y así, de manera indirecta, favorecer el crecimiento de los vegetales. Las experiencias de Katzuelson y su grupo han puesto de manifiesto la influencia de la luz, temperatura y humedad sobre la flora de la rizosfera del trigo y de la soja. Aumentando la intensidad de la luz se incrementan las bacterias, *Pseudomonas* en particular, sobre las raíces, sin afectar el número de hongos. Las variaciones de la temperatura afectan considerablemente la flora de la rizosfera, siendo los resultados diferentes para la soja que para el trigo. Especialmente, con la soja, el recuento de Nematodos se redujo grandemente al aumentar la temperatura. El contenido en humedad del suelo afecta también la flora de la rizosfera y mayores razones  $\frac{\text{bacterias rizosfera}}{\text{bacterias del suelo}}$  se obtienen con el 30 por 100 de humedad, que entre el 60 por 100 y el 90 por 100, con predominio en estos últimos de la flora fúngica.

La flora de la rizosfera del arroz es particularmente interesante, habiéndose estudiado la variación estacional entre los suelos encharcados y rizosfera del arroz. Es importante el efecto del encharcamiento y desecación posterior, así como los efectos de la recolección y la adición del abonado en verde. El encharcamiento disminuye la población microbiana de la rizosfera. También influye la edad de las plantas viéndose bacilos en las raíces de las más jóvenes. Las de más edad albergan más *Actinomycetos*. La aplicación de abonos orgánicos y fertilizantes a los suelos encharcados reduce la población de la rizosfera en los primeros estadíos, después de la recolección se estimula en la paja la formación de *Actinomycetos*, disminuyendo las bacterias. Con ello se consigue una actuación sobre la celulosa que se degrada hacia los materiales húmicos, sustancias negras, que se forman, en los terrenos desecados, bajo la acción de los grupos *Arthrobacter*, *Corynebacterium*, *Nocardia*, Esporulados y *Streptomyces*, actuando sobre diversos compuestos aromáticos sencillos. Las sustancias intermediarias, que se reducen, parecen ser de naturaleza quinona o semiquinonas que ocurren como radicales libres, para polimerizar las sustancias húmicas que constituyen la parte más resistente de los abonos orgánicos.

La población microbiana de la zona radicular de las plantas es más específicamente activa que la población del suelo, por su acción preferencial sobre las raíces de los vegetales. Los gérmenes efectúan

allí, sobre la planta, un efecto de masas, distinto al que realiza el germen específico utilizado en la inoculación de las semillas. Está bien establecido que el crecimiento de la raíz, a través del suelo, produce un efecto muy marcado sobre el equilibrio microbiano, tanto cualitativa como cuantitativamente. La raíz ejerce una fuerte acción selectiva, resultando, en esta zona, un predominio evidente de bacilos Gram negativos del tipo de los *Pseudomonas*, un incremento de bacterias que requieren aminoácidos, de otras capaces para la síntesis de Vitaminas así como otras con tasas rápidas de crecimiento y metabolismo. También ocurren cambios cualitativos en Hongos y Actinomicetos, ya que estos gérmenes exhiben sus características generales, asociadas con el desarrollo de la población microbiana, sobre las plantas verdes en descomposición. La secreción de la raíz y el tejido dérmico y apical que se desprenden, a través de su expansión, por el suelo, proporcionan sustancias nutritivas para los gérmenes que crecen en su vecindad.

La extensión y naturaleza de la micropoblación radicular está influida por muchos factores, tales como la edad y clase de planta, la naturaleza, contenido en humedad, reacción y tratamiento del suelo, y factores ambientales, como la luz y temperatura, de los que nos hemos ocupado antes. Estos factores afectan al crecimiento de la planta y por consiguiente a su biosfera. Se ha visto recientemente, que la aplicación de diferentes sustancias, a las partes foliares de una planta, ejerce grandes efectos sobre la población bacteriana de su raíz. Así, la urea incrementa la cifra de bacterias en la raíz del trigo, reduciendo la cantidad de hongos. El cloranfenicol, por el contrario, reduce el número de las bacterias, aumentando los hongos. Estos tratamientos no determinan solamente cambios cuantitativos, sino también cualitativos.

En conexión con esta aplicación foliar, es de particular interés el posible efecto de las sustancias químicas, agrícolas, sobre la población de la rizosfera, directamente, después de su transporte por la savia y exudación a través de las raíces. Sustancias como el ácido 2.3.6 triclorobenzoico y el ácido alfa-metoxifenilacético, así como la estreptomina, se han detectado, en los exudados radiculares, después de su aplicación sobre las hojas. Es un hecho real que este método puede utilizarse para el control de la población radicular de la planta y por consiguiente, con efectos sobre la salud y vigor de la misma. Por ejemplo, las sustancias que incrementan la actividad microbiana

de la rizosfera podrían mejorar las actividades nutritivas a su alrededor. Se pueden así, conseguir, barreras más efectivas contra la invasión radicular, existiendo de ello algunas evidencias experimentales. La aplicación de la Urea al maíz produce un incremento del número de Actinomicetos, en su rizosfera, antagonistas del *Fusarium roseum* patógeno de cereales.

En la plántula ya y al formarse la raíz, una vez desarrollado el fenómeno microbiológico de la rizosfera, ocurren, entre los gérmenes allí presentes, una multiplicidad de eventualidades asociativas y antagonistas, que permanecerán durante toda la existencia activa del vegetal. Todas las asociaciones concebibles pueden acaecer en esta comunidad densa y dinámica: simbiosis, sinergismos, producción de antibióticos, competiciones para nutrientes, lisis y parasitismos entre otras. Todos juegan un papel, determinando la proporción relativa de los diferentes grupos de organismos en esta zona, la preponderancia de unos tipos y el relegamiento de otros hacia un estado subdominante. Ello es muy importante, en relación con el establecimiento de los inoculantes de semillas en la zona radicular.

Se asegura que la microflora radicular ejerce un efecto beneficioso sobre el crecimiento del vegetal por diferentes vías: Aumenta la cifra de CO<sub>2</sub> en la zona radicular, así como la cantidad de ácidos orgánicos y los quelatos, lo que contribuye a la solubilización de los minerales fijos del suelo y, por consiguiente, a la utilización de nutrientes inorgánicos, tales como P, S, Ca, Fe, K, Mn, etc. La liberación de fosfatos, por fosfatasas bacterianas, en la zona radicular, ha sido observada recientemente. También descomponen las sustancias orgánicas excretadas por la raíz, así como los tejidos radiculares desprendidos, vivos o muertos, liberando nutrientes minerales y NH<sub>3</sub>, que puede ser absorbido, directamente, por la planta, o después de la nitrificación y al mismo tiempo destruir sustancias fitotóxicas que pueden afectar plantaciones subsiguientes de la misma cosecha. Ella produce aminoácidos y vitaminas, que pueden acelerar el crecimiento de la planta, enriqueciéndola con aminoácidos esenciales y vitamina B<sub>2</sub> y mejorar así su calidad para el consumo humano o animal. Ella sintetiza auxinas y giberilinas con un múltiple efecto vegetal. Finalmente, ella, no solamente se opone a la invasión microbiana por los patógenos del suelo, sino que produce sustancias líticas y antibióticos que protegen, funcionando, estos últimos, no solamente en la zona radicular, sino que se absorben, circulan por la savia y previenen



la planta contra los patógenos del tallo y las hojas. La competencia en nutritivos, tan activa en esta zona, limitará el desarrollo de los gérmenes patógenos.

También existen efectos negativos. En ciertas condiciones, la microflora radicular, actúa en detrimento del desarrollo vegetal, por inmovilización del Nitrógeno, Fósforo, Manganeseo, etc. en esa zona. Pueden, asimismo, liberarse sustancias fitotóxicas durante la descomposición de los materiales orgánicos de origen radicular, también pueden presentarse antagonismos sobre las bacterias favorables, tales como *Rhizobium* y producirse variedad de factores de crecimiento y germinación para los hongos patógenos y sus esporas, sustancias atrayentes de parásitos vegetales u otros organismos, potencialmente peligrosos, tales como Nematodos, los cuales son a veces originados en detrimento de la planta, tanto por la propia raíz, como por la microflora de la rizosfera. Todo ello lleva a la conclusión de que alterando, artificialmente y a nuestra conveniencia, la flora de la rizosfera, modificando las condiciones ambientales o mediante la aplicación foliar de sustancias apropiadas, podrían producirse efectos sobre la nutrición, salud y productibilidad de la planta.

Otro método microbiológico para incrementar el desarrollo vegetal y la producción de alimentos de este origen es la utilización de microbios con características especiales para producir un efecto particular: por ejemplo, la fijación del Nitrógeno atmosférico, la producción de sustancias promotoras del crecimiento de la planta, tales como auxinas o giberelinas, elaborar antibióticos o sustancias líticas, excretar vitaminas o aminoácidos o solubilizar minerales del suelo. Estos gérmenes viven naturalmente en el suelo y pueden ser estimulados, para ejercer su acción, por los métodos generales que antes mencionamos, aunque podemos conseguir activaciones muy superiores, seleccionando los gérmenes específicos para propósitos concretos. Se puede también realizar la adaptación del microbio, a la cosecha, con nuestro conocimiento de la Genética microbiana, consiguiéndose así microbios más eficaces para la fijación del N, como se han conseguido para la fabricación de antibióticos. Otras condiciones prácticas y biológicas prejuzgan el uso general de microbios como inoculantes del suelo, tratamiento de las semillas o bacterización. Este uso, bien controlado, puede resultar más barato que los estercolados con mantillo o en verde.

El cultivo de Leguminosas, solas, o en combinación con otras

cosechas, es una vieja práctica, aunque sólo desde 85 años se sabe que envuelve bacterias específicas. Las leguminosas constituyen material importante de provisión de materia orgánica, Nitrógeno y masa microbiana para el suelo, con la fertilización consiguiente. También son origen de buenos pastizales. Son especialmente importantes en las áreas con bajos niveles de Nitrógeno y escasa fertilidad y se desarrollan muy bien en suelos deficientes en N, incrementándose allí su capacidad de fijación del atmosférico. Por otra parte, las leguminosas que crecen en suelos fértiles, dependen más del nitrógeno del suelo que de la fijación. Es, por esta razón, por lo que las leguminosas tienen mayores éxitos en los países de campo en desarrollo o en los suelos pobres. En los suelos áridos o salinos, donde se requieren grandes cantidades de nitrógeno, las leguminosas pueden ser extremadamente importantes, a la corta o a la larga. Los agentes bacterianos que actúan con estas plantas son los *Rhizobium* y la inoculación de la semilla es la aplicación más universalmente conocida de estos microbios. El resultado de este tratamiento, con gérmenes activos, resistentes al bacteriófago, es familiar a todos. Se considera muy fundadamente que entre 100 y 400 kg. de Nitrógeno se adiciona a una hectárea de suelo, por año, como resultado de la fijación por plantas bien noduladas.

Se estudian diferentes fases, en rizobiología, que pueden ser muy interesantes para mejorar los resultados, tales como la especificidad de la relación huésped-bacteria, razas activas e inactivas, su persistencia en el terreno, los factores que afectan la nodulación y fijación del Nitrógeno, el fenómeno simbiótico en sí, la bioquímica de la fijación del Nitrógeno y los métodos y prácticas más convenientes para la inoculación de las semillas. Sobre algunos de ellos seguimos nuestra línea de investigación en los laboratorios de la Estación Experimental del Zaidín.

Diferentes factores, tales como la luz, temperatura, humedad, tipo de suelo, elementos, traza, contenido en N del suelo y reacción, influyen en las nodulaciones y fijación del Nitrógeno. Por otra parte, ciertas circunstancias microbiológicas y químicas ejercen efectos negativos sobre estos gérmenes, sobre su capacidad de nodulación y sobre la fijación del Nitrógeno. Las dificultades para establecer nuevos *Rhizobium* sobre algunos suelos, se deben a antagonismos biológicos con otros microbios de la rizosfera, especialmente actinomicetos y a la presencia de antiguos *Rhizobium* más vigorosos pero ineficaces

que compiten para los puntos de nodulación de la raíz de las leguminosas. Otro antagonismo se presenta en ataque del bacteriófago que puede ser responsable de la fatiga del trebol, del fallo del guisante, etc. referidos en diferentes países, lo que puede obviarse utilizando razas de *Rhizobium* resistentes al fago.

Los pesticidas pueden ser factores químicos nocivos, ante los herbicidas las opiniones son contradictorias, aunque es cierto que a veces también reducen la nodulación a concentraciones no demasiado elevadas. La lluvia foliar, con sustancias favorables, tales como la urea, puede reducir la nodulación, posiblemente, por incremento del nivel nitrogenado de la planta disminuyendo la razón C/N. La aplicación de las técnicas de la genética bacteriana puede determinar la obtención de *Rhizobium* más activos y con mayor amplitud de hospedadores. La transformación y en menos extensión, la transducción, dan posibilidades muy sugestivas de que ciertos marcadores pueden ser transferidos de unas razas a otras. Se pueden seleccionar mutaciones fago-resistentes o pesticido-resistentes cultivándolas en los medios convenientes. Todo ello es motivo de la investigación actual para resolver problemas de fertilización.

La llamada Bacterización de las semillas consiste en su inoculación, en una amplia variedad de plantas, con los microbios relacionados, con el fin de mejorar su desarrollo y reducir la enfermedad. Esta práctica se realiza ampliamente en la Unión Soviética y en cierto número de los países del Este con éxitos aparentes. No se usa con tanta extensión en el Oeste europeo, Estados Unidos, Austria, Canadá y otros, por no haber tenido buenos resultados, al principio, ya que solo demostraron aumento de crecimiento vegetal después de la bacterización. Experimentos posteriores realizados en Canadá y otros pues por no haber tenido buenos resultados al principio los intenta para demostrar el aumento de crecimiento vegetal después de la bacterización. Experimentos posteriores, realizados en Canadá, demuestran que generalmente se aumentan rendimientos del 15 al 25 por ciento y menos veces del 50 al 100 por ciento, o más. Ello puede no ser interesante para los países que poseen gran cantidad de tierra arable, pero en los pequeños países puede ser muy valioso un incremento de la cosecha entre el 15 y el 25 por 100. Durante los pasados años en muchos países occidentales se ha continuado investigando en esta dirección de trabajo, aumentando el número de expe-

riencias con éxitos cada vez mejores. También en la Estación Experimental del Zaidín se trabaja en esa línea.

Los gérmenes comúnmente utilizados en la bacterización son *Azotobacter* para la preparación de azotobacterina y las bacterias de la sílice, *Cl. pasteurianum*, *Streptomyces*, productores de antibióticos, *Pseudomonas fluorescens*, *Agrobacterium radiobacter* y Hongos productores de giberelinas, que no han sido tan empleados como los nombrados primeramente. Se supone, que las dos contribuciones más importantes de estos gérmenes estriban en la provisión de sustancias inorgánicas y orgánicas que estimulan el crecimiento de la planta y mejoran la calidad y rendimiento de las cosechas y la protección de la planta contra los fitopatógenos radiculares. Hay que notar, que estos efectos, son similares a los que determina la microflora de la rizosfera, aunque con la bacterización aparecen mucho más incrementados. Las bacterinas no están indicadas para suplir las prácticas normales de fertilización, ni las medidas protectoras.

No hay duda que muchos de los fallos, en la inoculación de las semillas, se deben al hecho de que las condiciones no son buenas para el inoculante, en especial cuando están relacionadas con ciertos factores como la humedad, la cantidad de materia orgánica presente en el suelo, pH, utilizabilidad de los fosfatos y tipo del suelo. Se ha observado que resultados positivos aparecen en ciertos tipos de suelo pero no en otros y por ello, tal vez fuera muy interesante investigar este fenómeno, con selección de los propios gérmenes de la rizosfera de la planta, para determinado suelo, tales como *Pseudomonas* y *Arthrobacter*.

Un punto, interesante aquí, es el nuevo papel con que aparece el *Azotobacter* superando el efecto del parasitismo de ciertos hongos fitopatógenos sobre la planta, es decir, el de antagonista y no sólo como productor de sustancias antibióticas, sino por proporcionar a la planta nutrientes esenciales que le son sustraídos por el patógeno invasor. Así, pues, debe explorarse la bacterización, y de ello se sacarán excelentes resultados, con miras al fenómeno de la nutrición vegetal y al control biológico de la enfermedad. Su consecuencia pudiera ser la obtención de mayores rendimientos y con ellos elevar la cantidad de alimentos conseguidos.

## LUCHA CONTRA LA INFECCION

Los microbios fitopatógenos: Bacterias, *Actinomyces*, Levaduras y Hongos, atacan las plantas en su raíz, tallo, hoja y frutos, produciendo una disminución grave en sus rendimientos, tanto en cantidad como en calidad. La lucha contra la infección y su tratamiento, constituyen, pues, modos de mejorar la situación alimenticia del mundo. La protección de las plantas contra la acción de los microbios se ha dirigido tradicionalmente hacia el control genético, por selección de vegetales resistentes, o hacia el control químico, siendo mucho menores los esfuerzos dirigidos para el establecimiento de un control biológico eficaz. Los progresos en el campo de la Guerra química contra los patógenos vegetales, parecen haberse estancado con el desarrollo de los agentes profilácticos externos. Sin embargo, recientemente, se investigan ciertas sustancias que poseen alguna actividad sistemática sobre las lesiones locales que producen los parásitos fúngicos. También se ha investigado sobre patógenos bacterianos, utilizando la Estreptomicina, antibiótico, que si bien es sistemáticamente activo, posee a niveles prácticos un potencial erradicante mínimo. Análogamente, el antibiótico fúngico, Cicloheximida, es activo sobre algunas lesiones locales producidas por los hongos, aunque como es bastante tóxico para los tejidos vegetales, quedan disminuídas sus posibilidades de aplicación.

La fumigación directa del suelo actúa desfavorablemente sobre los gérmenes que producen enfermedades radiculares. Desde el momento en que el marchitamiento de la fresa por *Verticillium* pudo ser controlado, en California, por la fumigación del suelo con cloropicrina, se ha incrementado mucho esta fumigación con fungicidas. El control del *Orobanche raniosa*, fanerogama parásita de leguminosas (el llamado hopo de las habas) también se lleva a cabo, con fumigaciones, mediante el metil bromuro disuelto en Keroseno. La Cloropicrina y el metil bromuro, en combinación, forman uno de los mejores fumigantes del suelo, que se han desarrollado, por su acción sinérgica. Aunque las prácticas de fumigación de los suelos comenzaron hace más de un siglo, para prevenir el ataque de la Filoxera, utilizando el sulfuro de carbono, el desarrollo moderno se realizó a través de las investigaciones de la Estación Experimental de Rothamsted, sobre el incremento de la fertilidad, en relación con la

esterilización parcial de los suelos, utilizando el vapor de agua y fumigantes volátiles. Los rendimientos de la cosecha de tabaco, en plantaciones cuyo cultivo continuo de esta planta favorece el desarrollo radicular de hongos patógenos, se incrementaron 500 a 1.000 por 100, después de la aplicación de cloropicrina a tasas de 9 ml. por metro cuadrado.

El grupo de investigadores holandeses de Wageningen ha estudiado recientemente cierto número de compuestos interesantes. Ha investigado la eficacia quimioterápica de algunos aminoácidos, observando que la d.l-serina y la d.l-treonina eran eficaces potenciadores de la especificidad del dimetil-dithio-carbonato sódico y del 2,3 dicloro 1,4 naftoquinona, agentes específicos de inhibición de enfermedades originadas por patógenos diversos. Los aminoácidos parece que protegen el transporte interno de los fungicidas a través de los tejidos del hospedador. La potenciación de los agentes antimicrobianos se ha llevado a cabo con Glicerina, Tween 80, Metilcelosolvosa, Polietileno glicol, Acido indol-3-Acético y cierto número de otros compuestos reguladores del crecimiento de la planta, de donde surgen importantes consideraciones en relación con la actividad de la quimioterapia.

Es absolutamente necesario, para la utilización de quimioterapéuticos, sobre las plantas, que entendamos el mecanismo de penetración de las grandes moléculas sin desintegrar (tóxicos sistémicos). Para ello deberemos conocer la naturaleza de las barreras atravesadas por estos compuestos, los tipos de configuración química que mejor transcurren por dichas barreras y los modos en que estas barreras deben modificarse para mejorar la actividad de los agentes terapéuticos. Además, y muy importante, es la elección del impacto más sensible para el componente inhibidor de la enfermedad. Hasta ahora no ha sido impresionante el éxito para controlar las bacterias que se multiplican rápidamente en los tejidos del hospedador y tampoco podemos ser capaces de aumentar la concentración de complejos antifúngicos, dentro del complejo hospedador-parásito, cuando la infección reside en la región vascular de la planta. Por ello, es deseable que nuestra ofensiva química se realice, no sobre el patógeno, sino sobre el hospedador mismo. Es posible que se consigan mejores efectos si suprimimos el patógeno, por alteración de su huesped, que por inactivar el crecimiento del germen invasor. En apoyo de esta hipótesis, se ha demostrado que la actividad de sustancias, tales como el

6-azauracilo, la kinetina y otras, no actúan sobre el hongo, sino sobre ciertas facetas del metabolismo del hospedador. Se ha llamado la atención, en relación con estos hechos, como ante la invasión de los Virus RNA se engendra, en el parasitado, un enzima sintetizador del Virus RNA específico, proporcionando con ello una base teórica de investigación para encontrar un quimioterápico virus específico.

Existen reguladores del crecimiento que imparten a la planta hospedadora cierto grado de resistencia a la infección, así, el retardante ácido n-amino-dimetil-succinámico paraliza la expresión sintomática de los manzanos inoculados con *Erwinia amilovora*, cuando se aplica cuatros días antes de la inoculación del patógeno, con lo que parece que una supresión del desarrollo de la planta, podría reducir su susceptibilidad para el agente infectante. No es menos sugestivo, el hecho, de que los reguladores del crecimiento podían ser medios terapéuticos, eficaces, cuando se usen en conjunción con las sustancias antimicrobianas.

Hay toxinas exógenas que contribuyen al síndrome patógeno. Una de las primeras que se conocieron fue la Tabtoxinina, producida por el *Pseudomonas tabaci*, responsable del halo sintomático, del "wildfire", del tabaco. Se ha demostrado que esta toxina es un análogo estructural de la methionina y que interfiere con una fase de la síntesis de proteínas del hospedador. Su efecto puede ser suprimido por la adición de methionina y por ello, podemos considerar al aminoácido como una antitoxina de actividad quimioterápica específica. Igualmente, la toxina Victorina, producida por el *Helminthosporium victoriae*, es del mismo orden de magnitud y actividad, existiendo razas resistentes a ella. Aún no se conoce su agente desintoxicante, en su momento, poseeremos un control efectivo de la enfermedad.

Acaso sean los compuestos fenólicos los más antiguos y ampliamente investigados agentes antimicrobianos vegetales. Los fenoles extraídos de las plantas poseen actividad, "in vitro", contra Bacterias y Hongos, siendo su acción, más específica, la inactivación de enzimas producidas por microbios implicados en la patogenia, tales como enzimas pectinolíticos, celulolíticos o proteolíticos. Hay que dilucidar si estos fenoles se originan, antes, o después de la invasión, en la lesión o fuera de ella y los factores metabólicos del hospedador, que median en la actividad de los fenoles sobre los microbios. Así pues, las investigaciones que pudieran realizarse sobre el hospedador pueden refe-

rirse a: 1.º uso de sustancias reguladoras del crecimiento, que alterando su metabolismo, lo hagan menos susceptible a la invasión; 2.º negativizar la influencia de un antimetabolito producido por el patógeno suministrando, exógenamente, al hospedador, el compuesto esencial; 3.º desintoxicación de las toxinas elaboradas por el patógeno, y 4.º utilización de los fenoles para inactivar los enzimas macerantes, tanto por inducción de su formación en el hospedador, como proporcionándoselos exógenamente.

Aunque son muchas las especies microbianas que se ponen en contacto con las superficies vegetales, sólo muy pocas son patógenas. El estado patógeno es pues la excepción. Muchas de las no patógenas y aún entre las patógenas, son productoras de antibióticos que pueden determinar un sistema controlador de la enfermedad. Existen bacterias saprofitas, que asociadas a patógenas, pueden suprimir un efecto infeccioso. Así, cierto Bacilo asociado al *Pseudomonas Morsprunorum*, en las hojas del cerezo, reduce su capacidad de infección natural y experimental. Hallazgos en virología sugieren, que cuando se preinfectan especies hospedadoras, con un virus patógeno, débilmente infectante, se las puede proteger de una infección subsiguiente con otro virus patógeno más destructor. Es interesante, a este respecto, que preinfectando *Datura* con TMV (Virus del Mosaico del Tabaco) sobre las mitades basales de la hoja, se protege a la mitad apical de la reinfección, verificada, seis días después, con la misma dilución del mismo virus. Si se exprime savia de las mitades infectadas y de las no infectadas, diez días después de haber contaminado experimentalmente las inferiores, se mezcla con TMV y se inoculan hojas de *Nicotiana glutinosa* el inoculum, que contiene savia de las hojas infectadas, produce menos lesiones que cuando el TMV se mezcla con savia control. Las sustancias interferentes, extraídas con hojas de *Datura*, se producen también en los tejidos del hospedador cuando se le aplica proteína TMV natural o Virus TMV inactivado por la luz ultravioleta. Estas experiencias representan la posibilidad de infectar plantas, de cosecha rentable, con Virus atenuados o latentes, induciéndoles así resistencias contra infecciones subsiguientes, lo que puede también realizarse con Virus o con proteínas extraídas de los mismos. Recapitulando, en este punto, los caminos para proteger la planta contra la invasión de patógenos pueden discurrir: 1.º y tal vez más importante, en el uso de dos grupos de quimioterápicos, los que se dirigen directamente sobre el agente patógeno y

los utilizados para alterar el metabolismo del hospedador, haciéndole menos susceptible a la parasitación. 2.º y menos investigado, es el Control biológico.

Parece deducirse, de investigaciones ya antiguas, la posibilidad de utilizar Bacterias para suprimir el crecimiento de patógenos fúngicos o bacterianos. Parece posible usar Virus para proteger plantas contra otros Virus o Bacterias. Esto nos lleva a considerar los métodos para mejorar la absorción y penetración de moléculas orgánicas, relativamente grandes, como las que se han mencionado. Para ello habría de conocerse la naturaleza de las membranas que han de atravesar estas sustancias químicas, hasta alcanzar los puntos del hospedador donde se muestran activas. El trabajo de Coodman y Coldberg (*Phytopathology*; 1960 - 50 pág. 851) ha demostrado la penetración cuticular directa, a través de las hojas, sin utilizar las aperturas de los estomas, de grandes moléculas orgánicas. Otros autores, del mismo Centro, han definido más claramente la naturaleza de la cutícula como barrera para las sustancias orgánicas. Se conoce mejor hoy la composición del segmento intercelular, formado primariamente por pectinas y constituido de residuos de ácido galacturónico unidos, cruzadamente, por iones Ca y Mg, que enlazan las cadenas de pectina a través de radicales carboxilo libres. A este complejo debe añadirse un componente proteico que forma una estructura gel tridimensional. La penetración y movimiento subsiguiente, a través de las barreras externas de las plantas, de los Virus, virus-proteína y fagos, presenta problemas aún más complejos. Así la Estreptomycin, molécula relativamente grande y compleja, que penetra a través de las hojas, tiene un peso molecular de 581, infinitamente más pequeño que el de 40.000.000 estimado para una partícula de TMV (Virus del Mosaico del Tabaco).

## LOS MICROBIOS COMO ALIMENTO

Aún, con el mejoramiento de las prácticas agrícolas, roturación de nuevos terrenos, usos de mejores fertilizantes y pesticidas, y la amplia aplicación de la genética vegetal, es muy dudoso que haya

suficiente alimento para la humanidad dentro de 30 años, que aleje el fantasma del hambre o desnutrición. Por esta razón, es preciso considerar seriamente la producción de microbios que sean alimentos utilizables directamente por el hombre o por los animales. Es notorio que la preferencia será para el *bicteac* mejor que para la tableta de Levaduras, pero si no hay del primero, habremos de contentarnos con la segunda, caso de necesidad. Sin duda, los microbios constituyen una reserva potencial de alimentos para un mundo hiponutrido, aunque la realización práctica de este potencial depende de muchos factores, tanto políticos, como sociales. Desde un punto de vista económico puro serán rentables, sólo, aquellos procedimientos para obtener alimentos microbianos que utilicen sustancias de desecho, industriales o residuos vitales, que sean transformados en productos comestibles. Las potencialidades de los Microbios son muy grandes, recordando el hecho de que los heterótrofos, en principio y sin excepción, son meros transformadores de los fotosintatos primitivos de la biosfera tanto terrestre como marina. En términos teóricos podríamos considerar a los microbios como competidores del hombre en la utilización de recursos, ya que también necesitan alimentos, pero sus productos utilizados revierten en otros, que son más completos para el hombre, en beneficio de su biomasa. El efecto de los microbios puede precisarse en los siguientes hechos: 1.º Reducción del factor C de la razón C/N de algunos de sus substratos, así, la levadura que crece, sobre azúcar, incrementa extraordinariamente el factor N. 2.º Incorporan a su organismo los desechos orgánicos, no utilizables por el hombre o los animales, transformándolos en productos utilizables. 3.º Reciclizan, alimentándose, los ciclos orgánicos de los animales, especialmente en lo referente a la eliminación y transformación de excretas; y 4.º Intervienen en la producción de compuestos específicos de importancia crítica para la alimentación del hombre y del ganado (Vitaminas, Aminoácidos, enzimas, proteínas complejas, etc.).

Como la disminución de los recursos alimenticios, prevista ante el incremento de la población, se reducirá probablemente a las fuentes de prótidos, lípidos y Vitaminas, los Microbios no sólo deberán conseguirse para obtener estos productos, sino para suplirlos ampliamente. Se ha hecho la comparación, entre la Ternera y la Levadura, en relación con la producción de proteínas. Una ternera de 500 kg. sintetiza sólo 400 gr. de proteína cada día. En este mismo tiempo 500

kg. de Levadura pueden producir 50 Tm. de proteínas. Aunque esta cifra no sea aplicable a todo tipo de microbios que se desarrollan sobre substratos convenientes, da una idea, en un orden de comparación. No se quiere decir con ello que la proteína de la Levadura sea tan apetecible, ni tan completa, como el lomo de ternera, aunque debe recordarse, que los puntos de vista sobre los méritos nutritivos relativos de las diferentes proteínas, van siendo modificados como resultado de investigaciones recientes y el primer cuadro, simplificado, de que las proteínas animales deben ser consideradas de primera clase, mientras que las proteínas vegetales son necesariamente inferiores, va puntualizándose en cierto aspecto de similitud. Se sabe hoy que ciertas proteínas vegetales, incluyendo entre ellas las de las Levaduras y otros microbios, mezcladas apropiadamente unas con otras, o con pequeñas cantidades de proteínas animales, están dotadas de un elevado valor biológico.

Es probable, que a los Microbios de la nueva Era se les de la designación de "ganado". En un principio y como los animales, son transformadores de la sustancia orgánica, pero poseen ventajas económicas sobre ellos, ya que crecen más deprisa y requieren alimentos más sencillos. Un cerdito, o un pollo, doblará su peso en un mes, mientras que la Levadura lo dobla en dos horas. Una factoría de levaduras, con 10 grandes tanques de fermentación, puede producir 10 toneladas de Levadura diaria, a base del sistema de fermentación continua. Para conseguirse la misma cantidad de proteína, en forma de cerdo, sería necesario matar 80 diarios, es decir, 30.000 en un año. Las limitaciones de tiempo son favorables, pero reafirmando un concepto antes vertido, existen otras, como el suministro de suficiente cantidad de materia prima necesaria al desarrollo de los microbios, que desde un punto de vista económico, solamente puede producirse utilizando desechos de factorías o aguas residuales. En cierto modo, las Levaduras y los Hongos son superiores a los transformadores animales. Ellos son capaces de producir proteínas, desde las sales amoniacales, por la misma vía que usan las plantas cuando utilizan los fertilizantes amoniacales, pero las plantas requieren toda una Estación para realizar su crecimiento, mientras que las Levaduras lo hacen en unas horas y de manera más concentrada.

Es presumible que los Microbios no sean consumidos más que como alimentos suplementarios. Su composición química muestra que no sustituyen totalmente a los cereales, frutas o vegetales y co-

mo están compuestos primordialmente por agua y proteínas pueden ser sustitutivos de alimentos proteicos. Existen algunas razones que indican su capacidad para sustituir a la carne. 1.<sup>a</sup> Porque la carne es demasiado cara. 2.<sup>a</sup> Si se consigue que el sabor de los Microbios sea tan bueno o superior al de la carne; y 3.<sup>a</sup> Cuando sean más fácilmente adquiribles que la carne. La levadura de cerveza es un producto de desecho, pero cuando se elimine su sabor amargo se convertirá en un aceptable sustitutivo de la carne. Las Bacterias de desarrollo rápido, que utilizan la Celulosa, tan eficazmente como las Levaduras usan el azúcar y que pueden desarrollarse sobre la paja, adicionada de Amonio, podrían cultivarse en gran escala y aún cuando la paja, así tratada, no puede ser usada como alimento para el hombre, constituye un alimento concentrado para Cerdos y Vacas lecheras, por su elevado contenido en proteínas y por su bajo precio.

Como substratos para la producción industrial de Levaduras, Bacterias y Hongos, se usan principalmente los carbohidratos. Hay que tener en cuenta, en todo caso, los detalles de velocidad de desarrollo de los gérmenes, composición de los mismos y conveniencias para la alimentación humana. El material hidrocarbonado, substrato principal para los microbios, existe, teóricamente, como fuente inextinguible en la materia vegetal y como la mayor parte de los vegetales están constituidos por celulosa, es necesario su hidrólisis previa a la fermentación, ya que no es posible la utilización directa de la celulosa, en gran escala, por bacterias y hongos, para formar proteínas comestibles.

Son los Ascomicetos el grupo de microbios más usados en el momento actual para producir alimentos y entre ellos, las Levaduras, tienen un interés primordial. La producción global de Levaduras supone la cifra de 4.000 toneladas por semana, siendo la especie *Candida utilis* la más empleada, sin olvidar que ciertos *Saccharomyces*, tales como *S. cerevisiae* y *S. carlsbergensis*, utilizados en panadería y producción de bebidas fermentadas son tan importantes como los *Candida* en la producción de proteínas. El éxito del género *Candida* estriba en su posibilidad para crecer sobre los líquidos sulfitados de desecho, tan ricos en pentosas como en hexosas, mientras que los *Saccharomyces* son incapaces de utilizar las pentosas. También los *Candida* son capaces de desarrollarse con Urea como fuente de Nitrógeno, mientras que los *Saccharomyces* no. En relación con la calidad de las proteínas producidas y su contenido en aminoácidos y

Vitaminas, del complejo B, no existen marcadas diferencias entre ambos géneros.

También debemos considerar aquí las Levaduras productoras de grasas, conocidas ya desde hace tiempo, como *Trichosporon pullulans* (llamado también antes *Endomyces vernalis*). Son, sin embargo, las más prometedoras productoras de lípidos, las pertenecientes al Género *Rhodotorula*, del que se han ocupado ampliamente en los últimos años los autores suecos. La *Rh. gracilis* no solamente rinde un contenido muy elevado en grasas, sino que puede aclimatarse y utilizar pentosas, como la xilosa, lo que es muy importante. Muy importante en esta especie, como ocurre asimismo con otras razas relacionadas con ella, es la posibilidad de desarrollo sobre un medio "normal" conteniéndose Nitrógeno, donde crece en su fase logarítmica, para después desarrollarse en un sistema de estarvación nitrogenada, fase donde la formación de lípidos se incrementa de una manera extraordinaria. Ello es bastante interesante, porque parece que si el organismo es estimulado con propósitos nutricionales, podría

ser posible variar a voluntad la razón  $\frac{\text{proteína}}{\text{lípidos}}$  originados. En lo que concierne a su contenido en aminoácidos la methionina se forma sólo durante la fase grasa y es reemplazada por la beta-alanina durante la fase proteica. Otras cosas interesantes del cultivo industrial de *Rh. gracilis* y otros *Rhodotorulas* son su contenido en Vitaminas del complejo B, Ergosterol y Pro vitamina A. Es posible, con una producción de 5.000 toneladas de *Rhodotorula gracilis* por año, cubrir las necesidades en lípidos de una población de medio millón de habitantes, si se complementa además la necesidad de los otros nutrientes requeridos.

Si bien, desde el punto de vista de la formación de Lípidos, se consideran hoy preferentemente las Levaduras, no hay que olvidar que ciertas Algas, incluyendo entre ellas algunas especies de *Chlorella*, son capaces también de acumularlos. Sin embargo, las Algas azul-verdosas no los producen.

Aunque las Bacterias no se conectan con la formación industrial de Lípidos, en el campo de la producción de Proteínas han recibido alguna atención desde hace años, cuando se observó, que el *Escherichia coli* puede suministrar un suplemento proteico, útil, en la alimentación de polluelos y ratas, debiendo anotar, que mientras las Levaduras son gravemente deficitarias en aminoácidos esenciales azu-

frados, methionina y cistina, no es el caso de las Bacterias, de las que pocas especies son deficientes y ninguna en Lisina.

Los alimentos derivados de los Microbios autótrofos, en forma de Proteínas, tienen una gran importancia desde el punto de vista económico, ya que para reproducirse utilizan como fuente de C el CO<sub>2</sub> del aire que organizan mediante la función clorofílica. Muchas investigaciones se han realizado en relación con la utilización de las Algas como fuente de Alimentos y Proteínas, no sólo en su aspecto global, sino como organismos posiblemente utilizables para los viajes por el Espacio exterior. La ventaja particular, para el uso de estas Algas, estriba en la eliminación del CO<sub>2</sub> desprendido por la respiración de los tripulantes de la Aeronave transformándolo en comida, aunque no haya que olvidar que el Nitrógeno sea indispensable para la nutrición de las Algas. Las *Chlorellas* pueden crecer a concentraciones de gas carbónico, tan bajas como del 0,5 por 100, tanto como en altas concentraciones, constituyendo buenos intercambiadores de gases en un ambiente cerrado o cabina.

Se ha demostrado la posibilidad de producir alimento proteico, a base de Algas, en cultivos iluminados durante ocho horas diarias y conservados en la oscuridad durante las 16 horas restantes, con lo que dan tan buenos rendimientos como los conseguidos con la iluminación continua. Ello indica que las células continúan multiplicándose durante la oscuridad y es por tanto posible utilizar la luz del día y obtener también buena producción de alimentos. Con *Seneddemus obliqua* se obtienen rendimientos del 44 por 100 de proteínas crudas, en fermentación continua. Las *Chlorellas* rinden cifras de 33 toneladas métricas por hectárea y año. Las *Chlorellas* más utilizadas son *pirenoidosa* y *vulgaris* que se desarrollan en superficies líquidas, bien iluminadas, con aireación continua, agitación y atmósfera saturada de CO<sub>2</sub>. Existen sistemas de depuración de aguas residuales que se fundan en la capacidad de transformación de su materia orgánica en Protoplasma de Algas verdes, con la consiguiente reducción importante de su demanda biológica de Oxígeno y elevada cosecha de Algas muy ricas en Proteínas.

En este sentido, en el Instituto Provincial de Sanidad de Granada, se realizan experiencias dirigidas por el Prof. Ibáñez, que tienden a posibilitar la depuración biológica de las aguas residuales, con producción de *Chlorella*, utilizable para la alimentación del ganado.

El hombre come Setas o Champiñones desde siempre, *Agaricus*,

*Boletus* y *Lactarius*, entre los Basidiomicetos y *Morchella* entre los Ascomicetos, son las formas más consumidas. Las Trufas, particularmente, alcanzan los más elevados precios por su sabor y aroma. Muchos hongos comestibles continúan siendo fuente de recursos en bastantes países europeos y americanos, especialmente el *Agaricus campestris*. Los productores del Queso de Cammenbert, no caen en la cuenta de que los cortex o caparazones son comestibles, siendo su sabor parecido al de las setas.

Durante los pasados 15 años, se ha investigado sobre la preparación masiva de Micelio de las setas en cultivos sumergidos, técnica diferente al método usual de preparación de los esporoforos sobre estiércol, o lechos de paja, adicionado de sustancias amoniacaes. Se ha demostrado que el *Agaricus campestris* crece, en forma miceliana, en cultivos sumergidos, con bastante pocos requerimientos nutritivos. La Tesis doctoral, inconclusa, de mi malogrado hijo, que se realizaba en la Estación Experimental del Zaidín, puso de manifiesto la posibilidad de desarrollo de *Amanitas*, *muscaria* y *panterina*, hongos tóxicos, no comestibles, productores de alucinógenos, en cultivos en superficie y sumergidos, con la formación de elevados rendimientos, en micelio sobre substratos sencillos. Se han obtenido también buenos crecimientos sumergidos, tanto en Ascomicetos como en Basidiomicetos, sin embargo sólo en *Agaricus campestris* y en *Lepiota rachodes* se aislaron productos con aromas agradables al paladar. Al estudiar diferentes medios sintéticos para el desarrollo de distintas setas se ha observado que *Morchella esculenta* y *Agaricus campestris* se desarrollan sobre los más sencillos, otros requieren la presencia de extractos de Levaduras. Se ha demostrado también la posible producción de Setas como fuentes de proteínas, utilizando, como substratos, materiales de desecho de la industria de los glúcidos, licores sulfitados de las papeleras, melazas, vinazas y residuos de destilación del jugo de la caña de azúcar fermentado (ron, etc.), todos ellos con problemas, para su eliminación, en las correspondientes industrias, cuando se suplen con materia nitrogenada, en forma de sulfato amónico y adicionan sales minerales.

## ALIMENTOS DEL PETROLEO

La Microbiología de los Hidrocarburos comenzó en 1895, cuando el japonés Migoshi observó que un hongo industrial, de uso común, el *Botritis cinerea*, podía atacar las parafinas, aunque hasta después de 1940 no menudearon las investigaciones en esta dirección. Por los años 50 se demostraba ya, indudablemente, que la oxidación de los hidrocarburos era propiedad general de muchos microbios, comenzándose desde entonces a considerar su mecanismo biológico, aunque hasta bastante reciente, la atención de los investigadores consideraba sólo, desde el punto de vista industrial, la prospección petrolífera, los problemas de erosión metálica y la formación de lodos microbianos en los tanques de fuel. Las investigaciones para la utilización del petróleo y sus residuos como substratos, capaces de producir bacterias, se han intensificado, más recientemente aún, desde las comunicaciones de Raymond y Davitz sobre el desarrollo rápido de los microbios en fracciones petrolíferas y por las más recientes patentes de Champagant sobre la producción de levadura pienso a partir de diferentes fracciones del petróleo crudo, amén, de otros autores, que siguieron demostrando la formación posible de ácido glutámico y la fijación del N atmosférico por bacterias que oxidan el Metano. Desde 1955 más de 500 trabajos han aparecido en relación con la fermentación de los hidrocarburos y son cientos las especies microbianas que los atacan, continuándose hoy con investigaciones prometedoras en esta dirección.

La acción microbiológica puede efectuarse sobre metano, n-alcanos, isoalcanos, alkenos, cicloalcanos e hidrocarburos cíclicos. En la oxidación del metano la primera etapa estriba en la formación de metanol. Los microbios descomponen los alcanos a través de un átomo de carbono terminal, para formar un alcohol primario que continúa oxidándose hasta ácido. Los alcanos de cadena recta se oxidan más fácilmente que los de cadena ramificada, comenzando por los grupos metilo terminales. Los compuestos, con una rama metilo, se atacan solamente si la molécula contiene una cadena no ramificada, lo suficientemente alargada, mientras que los alcanos, con grupos alquílicos ramificados, más largos que metilo, o con múltiples ramificaciones metilo, no son oxidados. Ello explica el porqué no ha sido observada la oxidación microbiana de la gasolina de automóvil que



contiene compuestos de heptano, octano y nonano, altamente ramificados.

No se ha investigado aún lo suficiente sobre la descomposición microbiana de las olefinas, que parece estar condicionada a la oxidación del componente 1-alkeno. La *Cándida lipolítica* oxida exadecano-1 a exadecano 1-2 diol, mientras que ciertas bacterias utilizan la vía oxidación del grupo metilo terminal, en el extremo saturado de la molécula. Las olefinas poliinsaturadas son más resistentes al ataque microbiano que los alcanos y las olefinas monoinsaturadas. Hasta muy recientemente se creía que los cicloalcanos eran muy resistentes a la oxidación bacteriana y hace dos años se demostró que las bacterias son capaces de oxidar series de hidrocarburos cíclicos, mediante un sistema de cooxidación con formación de las correspondientes cetonas. Este fenómeno se produce por enzimas de inducción que requieren el sistema NAD (Nicotin adenosina dinucleotido) y iones  $Fe^{++}$ . Se ha visto que la acidosalicílico-oxigenasa del *Mycobacterium* no es activa en ausencia de hierro.

La oxidación microbiana de los productos aromáticos se verifica a través de una serie de intermediarios. El anillo se oxida, primero, en una etapa de perhidroxilación que determina la formación de un compuesto trans-dihidroxi-dihidroxi, el cual es luego dehidroxigenado hasta componente dihidroxi, teniendo entonces efecto la ruptura del ciclo, por la acción de una oxigenasa. Así se produce el ácido salicílico a partir del naftaleno. *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Nocardia* y *Aspergillus* pueden efectuar oxidación de sustancias cíclicas.

La producción de levaduras alimentarias, que utilizan los hidrocarburos como substrato nutritivo, ha llamado la atención de los investigadores en los últimos diez años y las compañías petrolíferas se han interesado en el asunto, porque estos microbios se desarrollan mucho mejor sobre las fracciones ceras, es decir, los derivados menos estimables del petróleo crudo. Champagant estima que la producción potencial de proteínas de levadura, a partir del petróleo crudo, podría alcanzar la cifra de 20 millones de toneladas por año, lo que contribuiría eficazmente a aliviar el déficit alimenticio mundial, aunque, para conseguirlo, hay aún que resolver ciertos problemas colaterales, entre los que descuellan la aceptación por el consumidor y el peligro tóxico. Esto se evitaría, teóricamente, eliminando todo indicio de hidrocarburo residual. También tiene sus inconvenientes el consumo intenso de la levadura como proteína, ya que si

se usa, como única fuente, su elevado contenido en purinas y pirimidina limita su consumo a menos de 100 gramos por persona y día, al objeto de evitar problemas de detoxificación hepática. Habría pues que purificar esta proteína con el consiguiente encarecimiento industrial del proceso. Otros problemas, a resolver, son técnicos y se refieren a la posibilidad de que los microbios consuman no sólo las fracciones ceras, indeseables, del petróleo crudo, sino que actúen, por cooxidación, sobre las otras fracciones utilizables por la industria. Además de la levadura, en este proceso, se pueden conseguir otros productos celulares del más elevado interés, como son, el ácido glutámico y ciertas enzimas como las lipasas, que se obtienen a través de cultivos de gérmenes capaces de utilizar el keroseno.

Por otra parte, se han aislado microbios que transforman hidrocarburos y ácidos nafténicos, fijando al mismo tiempo Nitrógeno atmosférico en sustancia celular. Bacterias de los Géneros *Pseudomonas*, *Mycobacterium* y *Azotobacter* pertenecen a este grupo. Sus fuentes de carbono incluyen metano, butano, tetradecano, tolueno y un ácido nafténico, cicloxano-carboxilato. Ello explica la elevada concentración de N orgánico que se observa en los suelos expuestos al desprendimiento de gas de las tuberías, de aceites minerales o de gas natural, de donde se deducen probabilidades para incrementar el potencial agrícola por estos procesos de fijación de N.

En relación con la producción de ácido glutámico, utilizando los hidrocarburos, como materia prima fermentescible, en especial el keroseno, se han investigado diferentes bacterias, siendo la más prometedora un *Corynebacterium*, catalogado con el nombre de S 10 Bl. cuya característica principal es la necesidad de thiamina, a concentración óptima de 3-5 microgramos por litro. Los mejores rendimientos se consiguen con n-parafinas de número par de átomos de Carbono como dodecano, tetradecano y exadecano y menores cadenas de número impar como tridecano, pentadecano y heptadecano. En un medio de cultivo compuesto por 30 gramos de n-dodecano; 5 gramos de  $NH_4NO_3$ ; 2,5 gr. de  $K_2HPO_4$ ; 1 gr. de  $MgSO_4$ ; 3 microgramos de thiamina en 1.000 gr. de agua a pH 7'0 se obtuvieron 5 gramos de ácido glutámico, por litro, en 10 días de incubación a 30°, con la agitación en frascos cerrados.

El gas natural, Metano, se usa en grandes cantidades como fuente de Energía y de calor, tanto en la industria, como en el hogar y sus reservas forman una de las mayores fuentes de Energía de que

dispone el hombre hoy, en cantidades de trillones de metros cúbicos. Este gas natural está compuesto de 90-92 por 100 de Metano, 1,5 por 100 de Etano y 1-2 por 100 de Butano, siendo sus propiedades físicas y químicas muy similares a las del Metano puro. Desde 1906 se ha demostrado que el Metano puede ser consumido por un cultivo bacteriano puro, existiendo más de 50 diferentes especies de Bacterias que pueden oxidarlo. Sin embargo, estos conocimientos no han tenido repercusión industrial hasta hace poco tiempo, especialmente ante su utilización por el *Pseudomonas methánica*, y otras Bacterias del Género Bacillus, que a través de un medio básico, constituido por sales minerales y saturado de Metano producen elevadas cantidades de un material celular, con una composición de 32 por 100 de Proteínas, 60 por 100 de Hidrocarbonados y 5 por 100 de Grasas, rico en Vitaminas del complejo B y que en su valor nutritivo puede compararse al de la Levadura, harina de pescado o leche en polvo, pudiendo constituir un elemento interesante para la alimentación animal o humana.

#### PRODUCCION DE AMINOACIDOS Y VITAMINAS

Aunque, solamente de pasada, hemos de mencionar la producción de Aminoácidos por los Microbios, capaces de sintetizar en grandes cantidades algunos de los esenciales, con la enorme ventaja, sobre la síntesis química, de producirlos en su forma levógira, única biológicamente activa. El desarrollo de esta industria ha sido relativamente rápido. Así, la producción microbiana de Glutamato se elevó en 1961 a la cifra de 15.000 toneladas, después de sólo cinco años de haberse iniciado industrialmente. El *Micrococcus glutámicus* se usa como germen principal, para su formación en las fábricas japonesas. También se utilizan ciertas especies de *Brevibacterium* y *Microbacterium* y su rendimiento está afectado por la cifra de Biotina existente en el substrato. Ciertas mutantes auxotróficas del propio *M. glutámicus* acumulan Lisina y Ornitina con rendimientos industriales. El *Aerobacter aerogenes* se utiliza para producir Valina. La Homoserina se puede conseguir mediante el desarrollo de auxotrofos de

*Neurospora* y del propio *M. glutámicus* y la Treonina con estirpes de *Colibacilo*, *Neurospora* y *Bacillus subtilis*. Algunas estirpes de *Colibacilo* se utilizan para conseguir Triptófano y en todos ellos, la concentración de ciertos nutrientes particulares, en los medios de cultivo, ejercen un efecto importante, no sólo en los rendimientos de aminoácidos, sino en la cantidad y naturaleza de los otros sub-productos que se originan.

La producción industrial de Vitaminas, por los Microbios, se circunscribe preferentemente al Complejo B. La síntesis microbiana es la única fuente de la vitamina B<sub>12</sub>. Ninguna de las Vitaminas liposolubles se sintetiza por métodos microbiológicos y sólo un compuesto de beta-caroteno, convertible por los Animales en Vitamina A, se prepara, por fermentación microbiana, a partir de Hongos de los Géneros *Choanephora* y *Blakeslea*, entre otros. Las Vitaminas producidas por los Microbios pueden servir para fortificar dietas. Un gramo de Vitamina D refuerza 100 a 400 toneladas de alimentos, que llevan a la formación de 30 a 100 toneladas de carne de Cerdo o de Gallina. Un gramo de Vitamina A basta para reforzar una tonelada de alimentos que producirán 300 a 400 kg. de Cerdo o de Pollos. Estamos más avanzados en la alimentación de Cerdos y Gallinas que en el cuidado de nuestros pequeñuelos de la raza humana.

La Vitamina B<sub>2</sub>, o Riboflavina, se produce en cantidades industriales por un amplio grupo de Microbios: Ascomicetos, en dos especies muy relacionadas, *Ashbya gossypii* y *Eremothecium ashbyi* formadoras de grandes rendimientos, así como ciertas especies flavinogénicas de los Géneros *Cándida*, y *Clostridium*. Algunos *Mycobacterium* sintetizan también grandes cantidades, pero la lentitud de su desarrollo y la patogenidad de ciertas estirpes imposibilitan su uso industrial. La Cobalamina es sintetizada por ciertas especies bacterianas, entre las que descuellan el *B. megatherium*, *Propiomibacterium freudeirenchii*, *Streptomyces olivaceus*, *Str fradiae*, *Str griseus* y otros gérmenes. Se utiliza más bien como medicamento que en el refuerzo de dietas.

Es necesario revitalizar, a través de las investigaciones de la tecnología moderna, los métodos para la obtención de alimentos fermentados, que se usan por la Humanidad, desde los tiempos bíblicos, en todas las partes del Globo. Los métodos simplificados del ensilado vegetal, para proporcionar piensos completos, podían ser eventualmente aplicados para la producción de alimentos, con posibilidades

para su conservación efectiva, aunque se perdiera algún valor alimentario. El descubrimiento reciente de las Micotoxinas ha puesto en claro un peligro serio en la conservación de granos, semillas oleaginosas, etc., son estas sustancias producidas por Hongos que se desarrollan en alimentos almacenados y determinan un efecto tóxico para los consumidores.

#### UTILIZACION DE RESIDUOS

La utilización de los residuos humanos, animales y vegetales o fabriles, como substratos para el desarrollo de Microbios, importa, porque con ello se consigue transformar en productos útiles y hasta alimenticios, las sustancias de desecho, cuya manipulación o propiedades estorban al Hombre. La producción de Levaduras, desde las aguas residuales de la Industria, ha sido practicada con éxito en diferentes países, así de los líquidos sulfitados de la industria del papel, de las melazas, de hidrolizados de carne, hidrolizados de madera, de los residuos de destilería, etc. El cultivo de Levaduras es especialmente ventajoso, cuando se utiliza *Torulopsis utilis*, célula muy rica en proteínas, grasas y vitaminas.

El suero es un subproducto de la Industria del Queso del que se obtienen 5,5 millones de toneladas por año, sólo en los Estados Unidos y de las que 3/4 partes se tiran a la alcantarilla. Este suero perdido representa, aproximadamente, la cifra de 204.000 Tm. de azúcar y 36.000 toneladas de proteínas, que se podrían transformar en Levaduras para la alimentación animal.

Las aguas residuales humanas o animales pueden, asimismo, transformarse en peces, moluscos o crustáceos, tan ricos como los Langostinos, después de su mineralización y conversión de su sustancia orgánica en alimento, por el Plankton. Las carpas y otros peces pueden nadar conjuntamente con los patos, que se alimentan de otros vegetales primarios, y añaden Nitrógeno con sus heces. Esta asociación de los Patos, con unidades productoras de peces y con Bacterias y otros microbios planktónicos, se ha desarrollado, primero, en China, y hoy existen indutrias semejantes en Alemania Oriental,

Polonia y Rusia. Su principal obstáculo reside en la brevedad del tiempo estacional de producción, acortada entre uno a seis meses y dependiente de la latitud, porque, a causa del peligro sanitario que encierran estos productos, no pueden almacenarse para ser utilizados durante el verano. Podíamos, así, imaginar grandes unidades de fabricación de alimentos, donde crecieran Algas y Levaduras, utilizables después para la alimentación animal, mediante el empleo, como substrato principal, de las aguas negras, aunque para ello aún sea necesario resolver los problemas técnicos que se plantean.

#### ACEPTACION DE LOS ALIMENTOS MICROBIANOS POR EL HOMBRE

Es preciso considerar, aquí, algunos de los factores operantes que se oponen al uso de los alimentos derivados de los Microbios. Muchas toneladas de Levadura pienso se consumen anualmente por los animales, pero ninguna por el hombre. Esto nos lleva a considerar el problema de la aceptación y palatabilidad de estos productos, que necesariamente han de resolverse, antes de suministrarlos a la especie humana, ante la carestía de alimentos que se vislumbra para el porvenir y que aún hoy día existe en amplias zonas del Planeta. La poca aceptación de estos productos se opone a su utilización humana. Ello ocurre porque, para los animales, solamente cuenta el sabor para aceptar un alimento, mientras que para el hombre influyen además otros hábitos de costumbre, familiares, psicológicos, etc., y su aceptación va unida con el color, textura, costumbres y tabús, más que con el sabor. No podía escribir Nichol mejor cuando decía "La resistencia a los alimentos, no familiares, es extremadamente fuerte. Así, durante la guerra, los bretones rechazaban, en los años de escasez, la carne de ballena, aunque sea poco diferente de la carne de buey. La levadura se rechaza como alimento en las Indias, ni tampoco aceptan los granos, no familiares, en los años de hambre, las poblaciones del Oriente". En el caso de la carne de ballena pudiera ser causa la falta de costumbre de la mujer de la casa para realizar el tratamiento culinario que precisa. El caso de la Levadura pienso, en

Jamaica, podría deberse al sabor desagradable de las trazas de los agentes desespumantes que se añaden durante el proceso, los cuales pueden ahora suprimirse.

Hay que admitir que las algas unicelulares tienen un sabor muy desagradable, no familiar, que las hace difícilmente aceptables por el europeo occidental. Se supone que algunas razas orientales no son adversas a este tipo alimenticio, pero los trabajos experimentales realizados, relativos a su aceptación, por el sabor, no son alentadores. Es verdad que ciertas algas marinas son consumidas en Bretaña y otros países, pero, a pesar de ello, los productos que se obtienen por la vía industrial, no apetecen ser comidos. Podría ser posible el uso del Alga unicelular *Chlorella*, pero cuando se lee que tiene un olor a vegetación, parecido a veces al de la calabaza cruda, no se siente gran entusiasmo por ese plato, y si se añade, como dice Fisher, que cuando se come deja cierta sensación desagradable de tirantez en la garganta, comenzando después un sabor pesado nada placentero, la falta de entusiasmo para consumir el manjar aún es mayor. Uno de los autores japoneses que han estudiado más el problema, Mitsuda, dice que las algas desecadas son difícilmente digestibles y pueden originar diarreas y otros trastornos intestinales. Sin embargo, en los países donde se acostumbra a tomar curries u otros alimentos de fuerte sabor, será más fácil aceptar los alimentos microbianos, conseguidos como hasta ahora, así como en los países de régimen vegetariano, si acaso repugnan las algas, es posible se acepten fácilmente las levaduras.

En relación con el uso actual de alimentos microbianos hay que tener en cuenta además otros hechos. Ciertamente, algunos, pueden tener efectos perjudiciales para el hombre o los animales que los consuman y así, los gérmenes desarrollados sobre hidrocarburos podrían acaso tener efectos cancerígenos, derivados de sus residuos. Deberían hacerse investigaciones, en relación con ello. Se ha supuesto que el consumo de Levaduras pudiera ser perjudicial cuando sea superior a los 100 gramos por día, por su elevado contenido en purinas que determina la formación de ácido úrico y peligro de enfermedades renales. Ello, sin embargo, no es absolutamente correcto en el estado actual de nuestros conocimientos, porque aunque se incrementen las purinas en la dieta, no se consigue con ello un aumento proporcional de niveles de ácido úrico en la sangre. Se puede decir que, sin peligro alguno, la mayor parte de la población humana pue-

de consumir alrededor de la cifra de 20 gramos de levadura por día.

Es, pues, la aceptabilidad, uno de los mayores problemas para el consumo de los alimentos microbianos. Ello puede mejorarse en el futuro, con el desarrollo de productos de buen sabor, como el glutamato monosódico, adicionado a la levadura-alimento y con la aplicación de procedimientos técnicos o químicos que modifiquen la palatabilidad, sin interferir con las propiedades nutritivas, ni aumentar excesivamente los costos que encarecieran la producción.

## ANTIBIOTICOS Y ALIMENTOS

El campo de los antibióticos ocupa una posición preminente hoy para la humanidad. No sólo su introducción en la Medicina terapéutica, para la lucha contra la infección, ha logrado un enorme impacto humano, sino que en una escala global han contribuido materialmente a la producción de alimentos y a la conservación de los mismos. Constituye hoy una práctica estandarizada, el uso de tetraciclina y penicilina para la alimentación de gallinas, cerdos y ganado y su resultado es incrementar bastante la producción de alimentos de origen animal. El uso de la penicilina, en el tratamiento de la mastitis de las vacas, ha aumentado notablemente la producción lechera. Una muy importante contribución para incrementar nuestras reservas alimenticias, a través de la conservación, se hizo con la introducción de las tetraciclinas para conservar el pescado y la carne. Aunque es imposible conocer cuantitativamente el incremento en la producción de alimentos, debido al efecto de los antibióticos, compensando con ello la mayor demanda, originada por el éxito de los mismos en la reducción de las tasas de mortalidad, se sugiere sin embargo, que el balance es definitivamente positivo. Es interesante consignar a este efecto las conclusiones del Comité de Expertos OMS/FAO sobre "*Aspectos sanitarios del uso de Antibióticos en los alimentos y la alimentación*" en su reunión de Diciembre de 1962.

El Comité reconoce el valor y por consiguiente recomienda, el amplio uso de los antibióticos como agentes promotores del crecimiento. Las ventajas económicas obtenidas en la producción animal, por

el uso de ciertos antibióticos, en la alimentación, son considerables. Como parece más deseable que se usen como promotores del crecimiento otros antibióticos diferentes a los de valor médico, el Comité estima que la Penicilina, Clortetraciclina y Oxitetraciclina no sean dispensados como en el tiempo actual, debiendo ensayarse otros, acaso de más valor, para estos propósitos.

En relación con el uso de antibióticos para la conservación de productos animales, evitando la descomposición microbiológica de los mismos, el Comité estima a) Pescados: durante cierto número de años se han usado las tetraciclinas, con éxito, en diferentes países, para la preservación de los pescados incorporando 5 p. p. m. al hielo usado en los transportes y diez partes por millón en los líquidos conservadores. No se ha observado, con ello, ningún efecto sobre la salud humana. b) Pollería: para la conservación de carnes de pollo se ha incorporado Clortetraciclina u Oxitetraciclina, a dosis de 10 p. p. m., en el hielo utilizado para la refrigeración de los cadáveres eviscerados. El tratamiento es bueno en aquellos países que tengan facilidades en la refrigeración, lo que permite su consumo y distribución, a los hogares, sin efectos nocivos para la salud. c) Carne: Aunque las tetraciclinas no han tenido tanta aplicación para el tratamiento de las carnes, se ha visto, sin embargo, que a la temperatura de refrigeración pueden detener la contaminación superficial, considerablemente, cuando estos preparados se combinan con antifúngicos, tales como la Nistatina. La putrefacción interna de los cadáveres de vacuno, mantenidos sin refrigeración, puede ser retardada por la inyección de Clortetraciclina u Oxitetraciclina, inmediatamente después del sacrificio, para dar su nivel en los tejidos de 1 a 2 p. p. m. de antibiótico. Aunque estas prácticas no pueden sustituir cumplidamente a una refrigeración correcta, el Comité llama la atención para que sean aplicadas, concretamente, en los lugares donde no sea posible la refrigeración adecuada.

#### CONSERVACION DE ALIMENTOS

Los microbiólogos están interesados, de una parte, en la producción posible de alimentos por los Microbios, y de otra, en la pre-

vención de las alteraciones de los alimentos causadas por los Microbios. Parecen ser dos procesos opuestos, pero como ya dijo Linneo, toda división es artificial, ya que la misma actividad de los gérmenes puede ser útil en ciertas condiciones y perjudicial en otras. La conservación y almacenamiento de los alimentos es una necesidad y constituyen un arte desde los albores de la Civilización. Como las materias primas biológicas son alimento, tanto para los microbios, como para el hombre, la primitiva historia de la conservación de los alimentos constituye una crónica de la maestría humana contra los microbios que destruyen sus almacenes de víveres. Los orígenes de la tecnología microbiológica están representados por nuestro control sobre los microbios en panadería, quesería y cervecería y son de gran significación en biotecnología. Se puede presumir que el hombre primitivo no pararía mientes en el ennegrecimiento de sus alimentos deshidratados, la variedad y aroma de sus quesos ni el olor de su mantecas. Tampoco le importaría las deficiencias que determinan el Escorbuto o la Pelagra. Hoy se reconoce el valor o la calidad de un alimento, pero considerando siempre, que nuestras definiciones de calidad, dependen de las necesidades y de la herencia cultural de la Comunidad humana consumidora, de tal modo, que el habitante de un país, económicamente potente, quiere gozar de amplia variedad en su alimentos, independientemente de los factores geográficos y de las circunstancias estacionales. En este caso, la calidad no se define solamente en términos alimentarios, sino también por la presencia de irregularidades en el sabor, color, aroma y textura.

La operación básica de la tecnología alimentaria estriba en la prevención del desarrollo de los Microbios, lo que se consigue mediante los procedimientos adecuados de envasado y esterilización y mejorando los de desecación, con avances técnicos, cada vez más perfeccionados. Las alteraciones de los alimentos pueden tener diferentes orígenes: Microbianos, Enzimáticos y Químicos y los cambios efectuados por cada mecanismo dependen de la clase de alimento, tiempo, temperatura, grado de polución microbiana y tiempo transcurrido entre la recogida del alimento y el comienzo del proceso técnico, que si se alarga demasiado también puede perjudicar.

Los alimentos de origen animal: Leche, Pescados, Moluscos y Carnes se alteran rápidamente por efecto de las Bacterias y de los Enzimas, cuando se almacenan a temperaturas superiores a 0°. La

refrigeración es una maniobra importante y su uso minimiza las alteraciones de estos alimentos, antes de que sean manipulados para su proceso industrial. En los alimentos esterilizados o deshidratados, el recuento bacteriano final depende del inicial, por lo que es importante que se encuentren, al principio, lo menos contaminados posible. Además pueden presentarse cambios irreversibles o metabólicos, que afecten la calidad final del producto, aparte del recuento de Bacterias. Así, la estabilidad del pescado deshidratado se reduce grandemente cuando el proceso se realiza con peces que han estado mantenidos, sobre el hielo, durante seis días y aún se observa marcado cambio, cuando el almacenamiento, con hielo, ha sido sólo entre uno y tres días.

Un índice del Standard para el manejo y tratamiento de las materias alimenticias, muy alterables, es su estado bacteriológico al llegar a la factoría. Los pescados y la leche, ambos normalmente "estériles" en su obtención, pueden alcanzar grandes recuentos si no se ejecutan los adecuados controles de Higiene y temperatura. El efecto de la Temperatura sobre la constante de velocidad del desarrollo de las Bacterias es evidente, con su Curva logarítmica ascendente a partir de los 16°, para los materiales más alterables, entre los que se incluyen la leche, el pescado y la carne. La importancia de las bajas temperaturas es obvia y hoy se usan constantemente para el manejo de estos alimentos, antes de su proceso fabril, ya que reducen, tanto el contenido en Microbios, como el efecto enzimático.

En un recipiente protector pueden colocarse alimentos comercialmente estériles, capaces de mantener su calidad intacta, hasta su uso por el consumidor. El material alimenticio se cierra, calienta y enfría en un complejo de maquinaria, con el fin de eliminar su contenido bacteriano. El efecto depende, pues, tanto de la maquinaria, como del material. El proceso total tiene dos etapas: la primera reside en la velocidad de penetración del calor y la segunda en el efecto de este calor sobre la destrucción de las Células bacterianas y sus Esporas. Toda la acción está influida por la forma y tamaño de los envasados, constantes térmicas, grado de agitación, coeficientes de transferencia del calor, etc., que influyen, todos ellos, en el tiempo térmico mortal de las Bacterias, que tal vez sería mejor llamado tiempo de destrucción térmica (TDT).

El efecto del calor sobre los Microbios no puede ser considerado sin referencia a su ambiente seco o húmedo. La tasa de letalidad se

puede obtener desde la curva del TDT como sigue: En un tiempo M minutos, a T grados (F), existe una tasa letal de  $1/M$  si se actúa constantemente a partir de un tiempo, o de tal modo, que la letalidad sea  $(\frac{1}{M}) \times M = 1$ , es decir, el 100 por ciento de destrucción. Así, el recíproco del tiempo de esterilización, a una determinada temperatura, será la tasa de letalidad para esta temperatura, por consiguiente, una temperatura que varía con el tiempo, puede transformarse dentro de una curva de tasa de letalidad simple, reemplazando cada temperatura, en cualquier instante, por su correspondiente tasa de letalidad  $\frac{1}{M}$ . Para obtener el grado de letalidad requerida, la integración, representada por el área de la curva del diagrama obtenido, debe ser igual a 1,0 como ocurre en las condiciones de temperatura constante.

La interpretación definitiva dada al TDT fue combatida hace 20 años y aún hoy se acepta la naturaleza estadística de la destrucción microbiana. En todo proceso de esterilización progresiva, la relación existente entre los supervivientes y el tiempo del proceso es logarítmica, es decir, la tasa de destrucción, en cualquier momento, es proporcional al número de supervivientes que existen en ese momento. El punto final clásico representa probabilidad muy baja para el hallazgo de un germen viable en el número de recipientes usados convenientemente en la práctica de laboratorio. Si aumentamos el tratamiento, durante tiempo superior a los límites, determinados por la relación convencional TDT, disminuiríamos simplemente las probabilidades para el hallazgo de gérmenes viables. Así, una supervivencia calculada al 1 por 10.000 representa una probabilidad de 1 entre 10.000 recipientes. Como una espora viable podrá localizarse en el punto de probabilidad mínima, o en cualquier otro punto de probabilidad límite, podríamos considerar las probabilidades reales de alteración como la suma integrada de las probabilidades de todas las posiciones en el alimento.

Estas consideraciones teóricas se dirigen a la esterilización más correcta de los alimentos, por la acción del calor, pero en la práctica, el calentamiento de los alimentos, por las temperaturas de la esterilización o pasteurización, pueden determinar cambios físicos o químicos desfavorables para el consumidor y en ocasiones pueden destruir o alterar el valor nutritivo del producto. Estos cambios radican en el color, textura, sabor, desnaturalización proteica, alteraciones de la crema, contenido en Thiamina, etc. Cuando un alimento se ca-

lenta durante cierto tiempo pueden observarse cambios en algunas propiedades químicas. Si el calentamiento se continúa hasta su completa alteración, podremos especificar los cambios entre 0 y 100 por ciento en términos de temperatura y tiempo. Cuando estas mediciones se hacen a temperatura constante, tendremos suficientes datos para conocer el efecto de las diferentes combinaciones, temperatura-tiempo, sobre los cambios de la propiedad elegida. El mejoramiento de su calidad puede ser efectuado reduciendo el tiempo total a que se somete el alimento a temperatura moderadamente elevada. Este tiempo de tratamiento térmico aún puede disminuirse cuando existen bajas cifras de población microbiana crítica. También se puede mejorar la acción de la temperatura, sin afectar la calidad, reforzando el efecto esterilizante del calor con la adición de Nisina, aunque ello tenga limitaciones regulatorias y técnicas. En algunos alimentos es posible aplicar las ventajas diferenciales del calentamiento rápido y enfriamiento.

Para calentar, rápidamente, el contenido de un recipiente, el calor debe atravesar prontamente su pared, diseminándose después por el producto. Para conseguir esa elevada velocidad de transferencia, el material adyacente a la pared debe ser agitado, o mezclado hacia el centro o cuerpo principal del volumen alimenticio y en los recipientes cerrados esta operación se incrementa con la agitación del bote. Esta agitación será suave o fuerte, dependiendo ello de la viscosidad, de la sección fluída del alimento y puede ser continua o intermitente. Entre la pared del recipiente y la masa moviente del alimento, líquido o semilíquido, existe una película de la porción líquida del material alimenticio que se adhiere intensamente a la pared. Esta película, que posee elevada resistencia al flujo calórico, puede ser reducida en su espesor, minimizando su efecto de resistencia al calor, incrementando la velocidad de movimiento del recipiente y del contenido. En casos de líquidos, muy sensibles al calor, como la leche, es necesaria la agitación durante todo el calentamiento. Las plantas modernas de esterilización o evaporación de la leche ponen los medios para la agitación conveniente.

También se pueden prevenir las alteraciones microbianas de los alimentos si modificamos su composición y estructura, del tal modo, que se opongan al desarrollo de los gérmenes. Uno de los tratamientos más usados, consiste en la eliminación del agua, produciéndose los alimentos deshidratados que poseen la ventaja de su poco peso

y eliminación del almacenaje refrigerado, y como desventaja, la necesidad de restituir el agua, para su consumo, con otra bacteriológicamente pura. Es difícil separar el agua, por medio del calor, sin alterar la estructura física y química del alimento y la necesidad de tener un recipiente adecuado para prevenir las alteraciones químicas, durante el almacenaje. Los cambios indeseables que pueden tener lugar en el material biológico, cuando se utilizan procesos de desecación, son los siguientes: a) desnaturalización de las proteínas, b) reacciones químicas que producen alteraciones inesperadas, c) pérdida de los constituyentes volátiles, d) engrosamiento superficial, e) rotura (fisura) del material y pérdida general de su forma, f) migración de los constituyentes solubles, g) formación de sólidos indeseables desde los materiales líquidos, h) dificultades para la deshidratación debidas a cualquiera de estos cambios.

El estudio de la deshidratación de los alimentos presenta ciertas similitudes con el de la esterilización, porque, en esencia, se trata de reducir el número de moléculas residuales de agua por medio del calor, pero minimizando, al mismo tiempo, los efectos del tratamiento térmico. Las alteraciones deteriorativas aumentan, posteriormente, con los efectos inducidos en la estructura del producto por la eliminación del agua, complicación que no ocurre con la esterilización. Durante el almacenamiento de los productos deshidratados ocurren también cambios químicos.

En tecnología alimentaria tiene mucha importancia el tiempo necesario para producir el alimento deshidratado, ya que el proceso está afectado por otras variables distintas a la temperatura, como la cifra de humedad ambiental, la cantidad de agua residual del producto, su espesor, su estructura y su composición particular. En general, los alimentos deshidratados, en almacén, no poseen condiciones favorables para el desarrollo de los microbios, pero en ellos ocurren ciertas reacciones determinadas por el estado físico o químico del producto. Las medidas que se toman para prevenir esta alteración química sirven también para inhibir el desarrollo microbiano. Un mecanismo de descomposición afecta a veces a los otros y algunos tratamientos, que actúan disminuyendo pérdidas de ciertas calidades, a veces, aceleran otras.

Ocurren, en los alimentos deshidratados, reacciones enzimáticas que no se observan en los esterilizados, porque el calor necesario para la esterilización inactiva los enzimas y la elevada cantidad de

agua les protege contra las reacciones oxidativas. Existen dos tipos de enzimas de importancia particular: 1.º hidrolíticos y oxidativos que producen sabores amargos al reaccionar con los lípidos y 2.º Fenoloxidasas que determinan coloraciones negras, sabores desagradables y efectos adversos, sobre los nutrientes oxidables. El ennegrecimiento, no enzimático, es una reacción de carbohidratos que envuelve a otros compuestos, tales como los aminoácidos o las proteínas. La autooxidación de las grasas es una reacción no enzimática.

La conservación de los alimentos desecados se incrementa si se purgan de Oxígeno y se empaquetan en recipientes llenos de Nitrógeno. Este tipo de alimento, cada vez más aceptado, constituye una buena contribución para la distribución alimenticia a través del mundo. Sin embargo, se necesitan más investigaciones para determinar avances técnicos que permitan mejorar su calidad, especialmente dirigidos, hacia la inactivación de enzimas, deshidratación hasta niveles de humedad alrededor del 1 por 100, idear métodos de empaquetado y materiales para limitar los niveles de Oxígeno hasta el 1 por 100, lo que puede producirse también con el uso de antioxidantes y construir equipos de desecación, capaces de deshidratar alimentos por el uso de temperaturas elevadas, controlando los cambios de proteínas.

Para prevenir la descomposición de alimentos existen técnicas de reciente introducción, que son muy prometedoras y se basan en los avances actuales de la Física o de la Química. El uso de las radiaciones, de los antibióticos ya tratados, de nuevas sustancias bactericidas, etc. En la esterilización de las Naves del Espacio se ha visto la posibilidad de matar esporas de los microbios usando temperaturas relativamente bajas, mantenidas durante largo tiempo. Existe pues una inquietud científica, acusada, en relación con los procedimientos de conservación de alimentos, peón importante para tener cantidad, que utilizar, cuándo y donde sean precisos.

#### CONTROL BIOLÓGICO DE INSECTOS

La población de Artrópodos del mundo y entre ellos la cantidad de Insectos es enormemente superior, no sólo a la población huma-

na, sino a la cifra de Vertebrados existente. El hombre no usa generalmente Insectos para comer, si se exceptúan ciertos modismos localizados, mientras que los Insectos compiten con el hombre para su alimentación, destruyendo millones de toneladas de alimentos, o atacan los vegetales útiles, produciendo enfermedades que reducen sus rendimientos o los matan. La actuación sobre los insectos determinará, pues, el incremento de la cifra de alimentos disponibles. Dos modos importantes de actuación se realizan hoy: el llamado control químico por medio de insecticidas y el denominado control biológico, que se realiza por la acción de seres vivos que atacan o destruyen los insectos y entre ellos los microbios ocupan un papel predominante. Así, indirectamente, los microbios mejoran las disponibilidades alimentarias de la humanidad.

Existen varios grupos de Microbios patógenos para los insectos, capaces de producir enfermedades, y están representadas todas sus clases animales y vegetales en esa actividad.

Entre los Virus filtrables conocemos unos nueve grupos que son patógenos para unas 200 especies de Insectos, principalmente Lepidópteros, Himenópteros y Dípteros. Entre ellos los hay DNA y RNA. Algunos se presentan embebidos en Corpúsculos de inclusión intracelulares, mientras que otros son libres. Unos se originan en el Núcleo de las Células que parasitan, mientras otros lo hacen en el Protoplasma y existen tipos que se reproducen en ambos. Para este control biológico se han utilizado solamente los Virus, que se protegen contra las influencias ambientales, formando corpúsculos de inclusión intracelulares. Tales corpúsculos son poliedros o cápsulas, constituidos por una red de proteínas de diversos aminoácidos, que presenta una estructura típicamente paracristalina. Los Virus DNA son bacilares, los RNA dodecaedros. Los DNA están rodeados por dos membranas, con estructura similar a la del Virus del Mosaico del Tabaco (TMV), una hélice proteica que rodea el Acido nucléico, aunque en el TMV éste sea RNA. La replicación de todos los Virus de Insectos ocurre solamente en las Células vivas del hospedador. En la naturaleza, la infección es "per os" y la transmisión vía "ovo". La especificidad de tales Virus varía en relación con el tejido y la especie del hospedador. Un ejemplo, en el Orden Himenóptera, es la enfermedad poliedral de la Procesionaria del Pino (*Neodiprion sertifer* Geoffroy) donde las células epiteliales, de su intestino, sólo son atacadas y el Virus se puede multiplicar, solamente, en especies ani-



males muy cercanas. Con Lepidópteros, como en la Oruga de la Alfalfa (*Colias euryteme* Boisd) la especificidad para la especie y tejido es menor. Los Virus nucleares infectan, principalmente, las células de los Cuerpos grasos, hipodermis, matriz traqueal y a veces Leucocitos, ganglios y glándulas salivares de las Larvas hospedadoras. Hoy se conocen más de 20 especies de Virus de Insectos que se usan, con éxito, para combatir poblaciones productoras de pestes.

Los gérmenes del grupo Rickettsia se conocen mejor, como agentes de enfermedades humanas que para el control biológico de Insectos. Algunos de ellos son patógenos obligados de Artrópodos (Género Wolbachia) y producen elevada mortalidad entre Coleópteros y Dípteros. La *Rickettsiella mellolonthae* se multiplica en el citoplasma de los Cuerpos grasos y células sanguíneas de su hospedador, *Mellolonthinae*, y de ciertas otras cucarachas relacionadas, ocurriendo allí cambios morfológicos del germen, acompañados de la formación de cristales proteínicos, bipiramidales, de varias micras de diámetro.

Muy diferentes tipos de Bacterias aparecen asociadas con los Insectos como simbioses, comensales o patógenas. Estas últimas son valiosas para su control biológico y se han obtenido los mejores éxitos con dos especies que pueden servir como ejemplo, el *Bacillus popilliae*, agente casual de la enfermedad lechosa de la Cucaracha japonesa, *Popillia japonica*, Newman y el *Bacillus thuringiensis*, que actúa sobre variadas Larvas de Lepidópteros. Ambos bacilos poseen una inclusión, cristalina o paraesporal, muy característica, que facilita la infección de la Célula viva. El mecanismo de infección es usualmente oral y el desarrollo bacteriano tiene lugar fuera de las Células, no dentro, como ocurre en los Virus y Rickettsia. La transmisión transovariana se observa rara vez.

El *B. popilliae* multiplica y pulula en la sangre de los escarabajos después de pasar a través de la pared intestinal. Su modo natural de infección puede acelerarse con la inoculación parenteral de las esporas. Entonces, la muerte del hospedador ocurre después de algunas semanas, mientras que en las condiciones naturales el tiempo medio entre infección y muerte es de algunos meses. La inoculación artificial es importante, porque se necesitan masas de esporas para efectuar el control biológico, que no se pueden conseguir con los cultivos artificiales del germen. Igual ocurre con el *Bacillus lentomorbus* que produce una enfermedad similar en el Gorgojo blanco.

La producción artificial de masa microbiana resulta más fácil con el *Bacillus thuringiensis*, aerobio, que crece y esporula bien en los medios de cultivo compuestos de Extracto de Levadura, Peptona y Azúcares. Hoy se usan los cultivos sumergidos para su producción industrial. Después de aplicar las esporas, en la superficie de las hojas, son ingeridas por las Larvas del Lepidóptero. En su tubo digestivo, las esporas y las inclusiones cristalinas, actúan conjuntamente sobre el hospedador. La toxina cristal, sola, es capaz de matar las Larvas de algunas especies. Otras requieren la coacción de las esporas germinantes. No se conoce bien la razón de la diferente susceptibilidad de los distintos grupos de Lepidópteros y de la insusceptibilidad de los otros Insectos y Vertebrados. El proceso de interacción Espora-endotoxina, se complica más, por el hecho, de que algunas variedades de *B. thuringiensis* actúen de manera diferente sobre diversos hospedadores. Así, la variedad *sotto*, posee fuerte efecto sobre la larva del Gusano de seda, pero poco sobre *Piridae*, mientras que en la variedad *thuringiensis* ocurre lo contrario. Ello obstaculiza la estandarización de estos preparados.

Los Hongos se usaron ya en 1879 por Metalnikoff, en Rusia, para el control biológico de los Insectos. Hoy se conocen gran variedad de Hongos estomófagos entre los "*Fungi imperfecti*". Otro grupo de ellos pertenece a los *Entomophthorales*, que originan la muerte otoñal de las Moscas. Su vía de infección es parenteral. El micelio penetra la cubierta del Insecto. Las hifas de las esporas germinantes producen un enzima que disuelve la cutícula quitinosa, después el Microbio crece en el cuerpo del Insecto y la muerte ocurre tras la infección general de los tejidos. Posteriormente, a esta fase parasitaria, ocurre un caso típico de fase saprofita, pues el Hongo crece y esporula sobre el hospedador muerto. La fructificación ocurre generalmente sobre la superficie del cadáver. Las condiciones exteriores son aquí de más importancia que en otros patógenos de Insectos y la humedad es factor decisivo. Aunque en la lucha contra los Insectos, no se han logrado aún con los Hongos resultados aplicables, en gran escala, puede, sin embargo, ser una práctica útil en determinadas condiciones.

Entre los Protozoos, productores de enfermedades en Insectos, solo vamos a considerar el grupo más interesante, los *Microsporidios*, agrupación de los Esporozoarios, que determinan importantes epizootias en las Abejas y Gusanos de seda (*Nosema*). Se han aislado, entre

los Insectos, aproximadamente 160 especies de *Microsporidios* patógenos para Dípteros, Coleópteros y Lepidópteros. Su desarrollo es intracelular. Para su identificación es importante conocer el número de esporas que se producen desde un esporonte, su tamaño, forma y la especificidad del hospedador y tejido. La espora, rodeada de una espesa membrana, alberga el esporoplasma y un filamento polar, fino, de larga dimensión y arrollado en espirales regulares. Después de la ingestión sale del germen para atacar el epitelio digestivo del hospedador, al que invade, ocurriendo multiplicación en ciertos Organos y tejidos determinados, como los Cuerpos grasos, los Tubos malpighianos o las Glándulas de la seda. Los *Microsporidios* viven en el citoplasma de las Células parasitadas. Luis Pasteur, que fue el primero en conocer que además de la transmisión digestiva es muy frecuente la transmisión transovariana de estos parásitos, implantó medidas profilácticas que restauraron, para Francia, la Industria de la seda. La conservación de las esporas, en el Laboratorio, es muy difícil y su viabilidad se anula antes del año.

La mayoría de los patógenos de Insectos de que nos hemos ocupado y otros muchos más, no lo son para los otros seres vivos. Algunos hay cuyos efectos se reducen a una sola especie. Otros, como el *B. popillae* o el *B. thuringiensis*, infectan a un grupo de especies relacionadas. Esta especificidad de grupo tiene sus ventajas, porque se pueden combatir varias especies con un mismo preparado sin que se eliminen, al mismo tiempo, los Insectos beneficiosos, como polinizadores, predadores o parásitos de otros Insectos y así no se altera el balance ecológico natural, cosa que ocurre con el uso de los Insecticidas. Estos productos son inocuos para el Hombre y los animales domésticos. Además, no existen los problemas tóxicos residuales, ni de envenenamiento de Vertebrados, que se presentan en la práctica, cuando se manejan poco cuidadosamente los insecticidas químicos.

Poseen, sin embargo, ciertas desventajas, ya que los insecticidas químicos actúan simultáneamente sobre un amplio campo de pestes, por lo que resultan más baratos, pero, como demuestran las experiencias recientes, son muy superiores los métodos de control que conservan el poder regulador de la biocenosis. El balance energético transcurre a favor de aquellos sistemas que utilizan los factores bióticos limitantes, de tal modo, que se interfiera lo menos posible con los factores de la regulación natural. Ello puede hacerse combinando los mejores agentes selectivos de muerte, tanto químicos, como bio-

lógicos, lo que se denomina "Control integral". Con ello se evitan los inconvenientes, bien conocidos, en la aplicación permanente de Insecticidas, de la derivación de mutaciones resistentes. Por ello son de desear investigaciones que conduzcan al hallazgo de Microbios patógenos más selectivos, para efectuar un moderno control de las pestes.

No está aún totalmente estudiado el problema de la resistencia del hospedador. Existen casos en que esta resistencia es mínima, como ocurre con la elevada mortalidad, que aún se presenta con el Virus de la Poliedrosis, que desde hace veinte años se introdujo en el Canadá, sobre el Insecto *Dyprion hercyniae*, sin que se observen cambios notorios en esta tasa. Ninguna disminución del poder patógeno del *B. thuringiensis* se ha observado sobre la polilla de la Harina, *Anagasta kühniella*, después de siete generaciones. La oruga del Trébol, sin embargo, muestra resistencia al Virus de la Poliedrosis después de muchas infecciones seriadas, demostrable por selección de supervivientes; debe anotarse que esta selección no se efectúa naturalmente, aunque se han observado ciertos cambios cíclicos en la tolerancia del hospedador. En la relación Patógeno-hospedador cada uno de ellos posee el mismo potencial de mutación, frente a una mayor patogenidad o a una mayor tolerancia respectivamente. Será preciso, pues, comprobar si el *B. thuringiensis* continuará poseyendo el poder patógeno, tan elevado, a través de las nuevas generaciones, por la posible aparición de mutaciones.

El poder patógeno de estos agentes biológicos puede incrementarse mediante la selección de estirpes con mayor capacidad de infección. Así, se han aislado razas de Virus de la Poliedrosis nuclear que originan una mortalidad muy superior a la de las originariamente aisladas donde, presumiblemente, se encontraban mezcladas. Esta selección se ha llevado a efecto por transmisión experimental, en serie, a Larvas susceptibles después de 4 a 6 pases. Es posible además adaptar Virus patógenos a Insectos sobre los que en principio no muestran infecciosidad.

El conjunto Ambiente-Hospedador-Patógeno determina, en los Insectos, el efecto y persistencia de una enfermedad. Se conocen casos donde la introducción de un patógeno en una comunidad nueva produce un efecto persistente y auto-perpetuante. Existen dos posibilidades de persistencia, que pueden producirse, parcialmente combinadas entre sí. El patógeno puede ser lo suficiente resistente para

sobrevivir fuera del hospedador, aún ante condiciones adversas. Ejemplo de ello son los patógenos que producen cuerpos de inclusión o esporas, o que permanecen embebidos en el cadáver del hospedador (*B. popilliae*). Este tipo de "persistencia ambiental" es comparable a la persistencia de los Insecticidas, tales, como los carbohidratos clorados, que permanecen activos en el suelo durante muchos años.

La otra posibilidad aparece en la población hospedadora, como resultado de la actividad de los portadores vivos o de la transmisión ovariana de los patógenos, lo que se ve ocurrir generalmente con los Virus y con los Microsporidios. La infección bacteriana puede, a veces, transmitirse a la generación siguiente cuando las Larvas se originan desde huevos cuya cubierta haya sido contaminada por las esporas. Este tipo de "persistencia biológica", que requiere la madre para infectar al hijo, se complementa por la capacidad del agente patógeno para continuar subsistiendo en estado inaparente y estos individuos infectados, latentemente, son capaces de germinar y producir Huevos. Las hembras, y rara vez también los machos, contribuyen a esta transmisión, que aparecerá durante la generación siguiente o aún después.

La diseminación de la enfermedad está a veces ocasionada por la dispersión de los individuos infectados latentemente. Sus hábitos determinan si el patógeno necesita o no de la ayuda del Hombre, para diseminarse, a través de una nueva comunidad receptiva. El *Dyprion hercyniae* deposita sus Huevos aislados en la punta de la hoja filiforme del Pino, apartándose después de poner cada huevo. El *Neodyprion sertifer*. Procesionaria del Pino europeo, pone sus huevos conjuntamente en forma de racimo. En su consecuencia, el primero disemina sus huevos muy fácilmente y si están infectados, determinarán la formación de numerosos focos, desde los cuales, puede extenderse muy fácilmente la infección. El segundo, por el contrario, para extenderse, a través de una población receptora, precisa de una diseminación artificial repetida.

La persistencia biológica es una cualidad de los patógenos de Insectos que no se presenta en los Insecticidas químicos.

El mecanismo de expansión artificial de los agentes patógenos de Insectos, incorporados a polvos, o en forma de lluvia, es similar a la aplicación de los Insecticidas. Resulta útil cuando la expansión natural sea insuficiente por la necesidad de tiempo o por la densidad de la población hospedadora, si es demasiado baja para determinar

una diseminación natural en condiciones de prevalencia. Hoy se experimentan nuevos modos para la aplicación de estos agentes de control biológico, Hembras de la Oruga de la Alfalfa, *Colias eurytheme*, se liberaron después de contaminar su Armadura genital con una pasta que contiene Virus del Poliedro. La ventaja de este método estriba en que sólo se precisan pocos patógenos, no hay costos para los equipos de aplicación en el campo, no precisa un tiempo determinado para su adecuada realización y la dispersión de los patógenos se efectúa a través de los Insectos y por toda la población hospedadora, aún en aquellos lugares que no son accesibles a las lluvias artificiales ni a los polvos. Otro método se probó con la Procesionaria del Pino, *Neodyprion swaniei*. Después de una infección subletal, los "Capullos", conteniendo Larvas, se distribuyeron sobre pinos. Los adultos emergentes dejaron después Huevos infectados y se produjo la subsiguiente epizootia entre la población sana. La diseminación de patógenos, por la liberación de adultos contaminados y la dispersión de individuos infectados latentemente, son métodos que demuestran la gran diferencia existente entre la prevención biológica y el control químico.

Semejante diferencia aparece patente, también, después de su aplicación, cuando se mide el efecto del tratamiento con los insecticidas, el efecto que se determina en la tasa de mortalidad. Mientras sea más elevada, mejor es el Insecticida. No curre así con los biológicos, porque se utilizan individuos infectados que producirán enfermedad en las generaciones futuras, y así no se puede medir su efecto por la tasa de mortalidad total, sino por el grado de persistencia del efecto a través del tiempo.

Los agentes patógenos son, pues, más inocuos para el hombre y más selectivos en su acción específica que los químicos. Los Insectos no reaccionan contra ellos, produciendo mutantes resistentes y pueden obtenerse, en el laboratorio, razas con selectividad patológica más acusada. Persisten biológicamente, son apropiados para la diseminación por la liberación de adultos contaminados y son capaces de proporcionar mejores resultados que los que indican meramente sus tasas de mortalidad.

Es necesario conocer mejor el mecanismo de actuación de los patógenos y su influencia sobre la población hospedadora. Entonces, se alcanzará a determinar el modo de manipular más adecuadamente estos seres vivos, con el fin de producir una autorregulación y un

balance económicamente tolerable, obteniendo óptimos resultados, en beneficio de la alimentación humana, con el mínimo deterioro y pérdidas de energía.

#### CONSIDERACIONES FINALES

Para terminar esta disertación, que se va alargando ya demasiado, en la que esperamos haber mostrado el modo posible de ampliar, con el uso de los Microbios, la superficie de la biosfera humana y así, de la misma manera que hasta el presente, se han adoptado medidas que han provocado la obtención de incrementos bajo la forma de energía, agua, metales, etc., debe también la humanidad esforzarse para conseguir los alimentos que, en su día, y aún hoy, puede necesitar. Es la Microbiología camino adecuado para ello, por las perspectivas positivas que ofrece en el futuro. Hemos de aprender a operar con la Naturaleza, no contra ella, y debemos insistir en que son necesarias experimentaciones, a la misma escala que las de los proyectos del Espacio y con la urgencia correspondiente, si consideramos la existencia de miles de millones de hombres con hambre. Muchas ramas de la Tecnología pueden cooperar a tal fin y como expone Borgstrom (*loc. cit.*) urge acometer el siguiente programa si se quiere resolver adecuadamente el gran problema planteado.

En relación con los alimentos: 1.º Revisión del estado actual, técnico y productivo de los alimentos fermentados para mejorar y ampliar el uso de los métodos modernos, a fin de conseguir procedimientos más sencillos y baratos. 2.º Instaurar sistemas de investigación para el descubrimiento de Hongos y Bacterias ricos en Metionina. 3.º Extender los estudios de Ingeniería para la transformación de las plantas de depuración de las Aguas residuales como centros de producción de alimentos vía Algas, Levaduras, Hongos, Bacterias, Peces, etc.; y 4.º Determinar la contribución nutritiva de la Flora intestinal.

En relación con el suelo: 1.º Ampliar la Investigación para mejorar la fijación del Nitrógeno en los climas tropicales y templados, con el propósito específico de reducir la aplicación de los fertilizantes

artificiales o, aún mejor, hacerla superflua. 2.º Precisar mejor el papel de los Microbios en los procesos de mineralización y extracción de los recursos minerales combinados (Fósforo, Calcio, etc.).

En relación con el Mar: 1.º Realizar un mapa detallado de los Ciclos del Nitrógeno y Azufre en los Océanos. 2.º Estudiar bien el papel del Nanoplankton. 3.º Estudiar la movilización microbiana de la Materia orgánica, no viva, de los Océanos. 4.º Determinar bien el papel de los Microbios autótrofos de los mismos.

En relación con los Lagos: 1.º Determinar el papel de los Microbios en los Ciclos del Nitrógeno y Azufre de los mismos. 2.º Estudiar los mecanismos de inmunización de los Peces, bajo el "stress" estacional de los Microbios en las aguas que los rodean.

En relación con los seres vivos: Investigaciones bacteriológicas e inmunológicas para prevenir alteraciones, enfermedades y muerte de los Animales y los Vegetales útiles.

Según Mc Call. (*Chronica Botánica - 1947, Vol. 11 pág. 273*) "La Ciencia tiene la responsabilidad de establecer la producción de Alimentos eliminando las circunstancias que se oponen a ello" corroborando después el Presidente de la Fundación Rockefeller, George Harrar (*Strategy for the Conquest of Hunger.—The Rockefeller Foundation.—New York 1963*) cuando escribió "Pero mientras tanto, es el hecho melancólico, que la mitad de la población del Mundo se acuesta con hambre cada noche. Mientras el Hombre se afana para la conquista del Universo, fallan trágicamente los esfuerzos para proporcionarle un standard mínimo de Vida. Si este fallo no se corrige, de manera razonable, puede finalizar la Humanidad en el Caos", ya que como dice muy bien Su Santidad, el Papa Pablo VI, el desarrollo auténtico y verdadero no consiste en la riqueza egoísta sino en la economía al servicio del hombre, el pan de cada día distribuido a todos, como fuente de fraternidad y signo de la Providencia.

HE DICHO