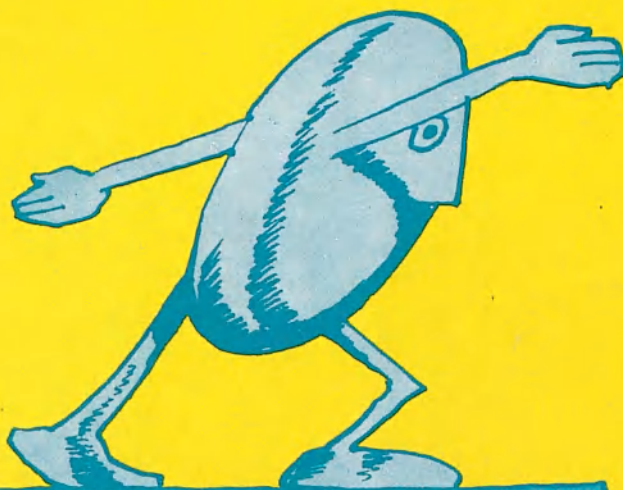




Una ventana abierta al mundo

El Correo

Julio 1975 (año XXVIII) Precio : 2,80 francos franceses



AL MICROBIO

**HOMENAJE
DE LA CIENCIA
AGRADECIDA**



CLAP
CLAP



Foto © Roland Michaux, París.

TESOROS DEL ARTE MUNDIAL

101

**Año Internacional
de la Mujer**

REPUBLICA DE COREA

Bailarina en danza ritual

Como un torbellino de telas y de miembros, lleno al mismo tiempo de vigor y de gracia refinada, este dibujo de Kim-Hong-do, pintor coreano de fines del siglo XVIII, nos ofrece el vivo retrato de una bailarina coreana ejecutando una danza ritual. Kim-Hong-do nos ha dejado varias series de extraordinarios dibujos en que el artista reproduce los paisajes de su tierra y los diversos aspectos de la vida popular y evoca a los «Inmortales», grandes figuras de la mitología, la religión y la historia coreanas. El que aquí ofrecemos se conserva en el Museo Nacional de Seúl.

JULIO 1975

AÑO XXVIII

PUBLICADO EN 15 IDIOMAS

Español	Arabe	Hebreo
Inglés	Japonés	Persa
Francés	Italiano	Portugués
Ruso	Hindi	Neerlandés
Alemán	Tamul	Turco

Publicación mensual de la **UNESCO**
(Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura)

Venta y distribución
Unesco, Place de Fontenoy, 75700 París

Tarifa de suscripción anual : 28 francos

Tapas para 11 números : 24 francos

Los artículos y fotografías de este número que llevan el signo © (copyright) no pueden ser reproducidos. Todos los demás textos e ilustraciones pueden reproducirse, siempre que se mencione su origen de la siguiente manera : "De EL CORREO DE LA UNESCO", y se agregue su fecha de publicación. Al reproducirse los artículos y las fotos deberá hacerse constar el nombre del autor. En lo que respecta a las fotografías reproducibles, serán facilitadas por la Redacción siempre que el director de otra publicación las solicite por escrito. Una vez utilizados estos materiales, deberán enviarse a la Redacción tres ejemplares del periódico o revista que los publique. Los artículos firmados expresan la opinión de sus autores y no representan forzosamente el punto de vista de la Unesco o de la Redacción de la revista.

Redacción y Administración

Unesco, Place de Fontenoy, 75700 París

Director y Jefe de Redacción

Sandy Koffler

Subjefes de Redacción

René Caloz

Olga Rödel

Redactores Principales

Español : Francisco Fernández-Santos

Francés : Jane Albert Hesse

Inglés : Ronald Fenton

Ruso : Georgi Stetsenko

Alemán : Werner Merkli (Berna)

Arabe : Abdel Moneim El Sawi (El Cairo)

Japonés : Kazuo Akao (Tokio)

Italiano : Maria Remiddi (Roma)

Hindi : Sayed Asad Ali (Delhi)

Tamul : N.D. Sundaravadivelu (Madrás)

Hebreo : Alexander Broido (Tel Aviv)

Persa : Fereydund Ardalán (Teherán)

Portugués : Benedicto Silva (Río de Janeiro)

Neerlandés : Paul Morren (Amberes)

Turco : Mefra Telci (Estambul)

Redactores

Español : Jorge Enrique Adoum

Francés : Philippe Ouannès

Inglés : Roy Malkin

Ilustración : Anne-Marie Maillard

Documentación : Christiane Boucher

Composición gráfica

Robert Jacquemin

La correspondencia debe dirigirse al Director de la revista

Página

5 EL NUEVO MUNDO DE LA MICROBIOLOGIA

por *Elie L. Wollman*

9 DON MICROBIO Y SU FAMILIA NUMEROSA

Historieta ilustrada

por *Jean-Marie Clément y Safoura Assia*

17 LOS MICROBIOS, ARMA EFICAZ CONTRA LAS ENFERMEDADES MICROBIANAS

por *Oganes V. Baroyan*

21 LOS LABORIOSOS MICROBIOS

por *Kei Arima*

24 EN LA BASE MISMA DE LA NATURALEZA UN EJEMPLO DE COEXISTENCIA PACIFICA

por *John Roger Porter*

26 NUESTROS ANTEPASADOS LOS MICROBIOS

Arquitectos y guardianes de la biosfera

por *Jan Wilhelm M. La Rivière*

29 INVISIBLES BASUREROS Y METALURGICOS

por *Albert Sasson*

31 LA UNESCO CONTRIBUYE AL DESARROLLO MUNDIAL DE LA MICROBIOLOGIA APLICADA

por *Edgar J. DaSilva y Fabian Fernandes*

32 CARTA A UN MICROBIOLOGO EN CIERNE

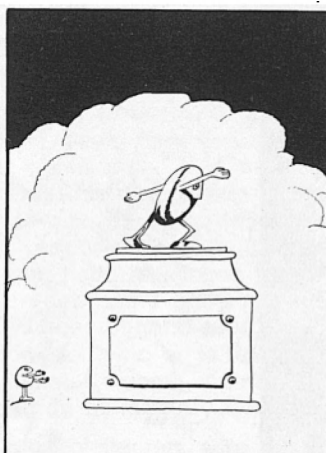
por *Carl-Göran Héden*

2 TESOROS DEL ARTE MUNDIAL

Año Internacional de la Mujer

Bailarina en danza ritual (República de Corea)

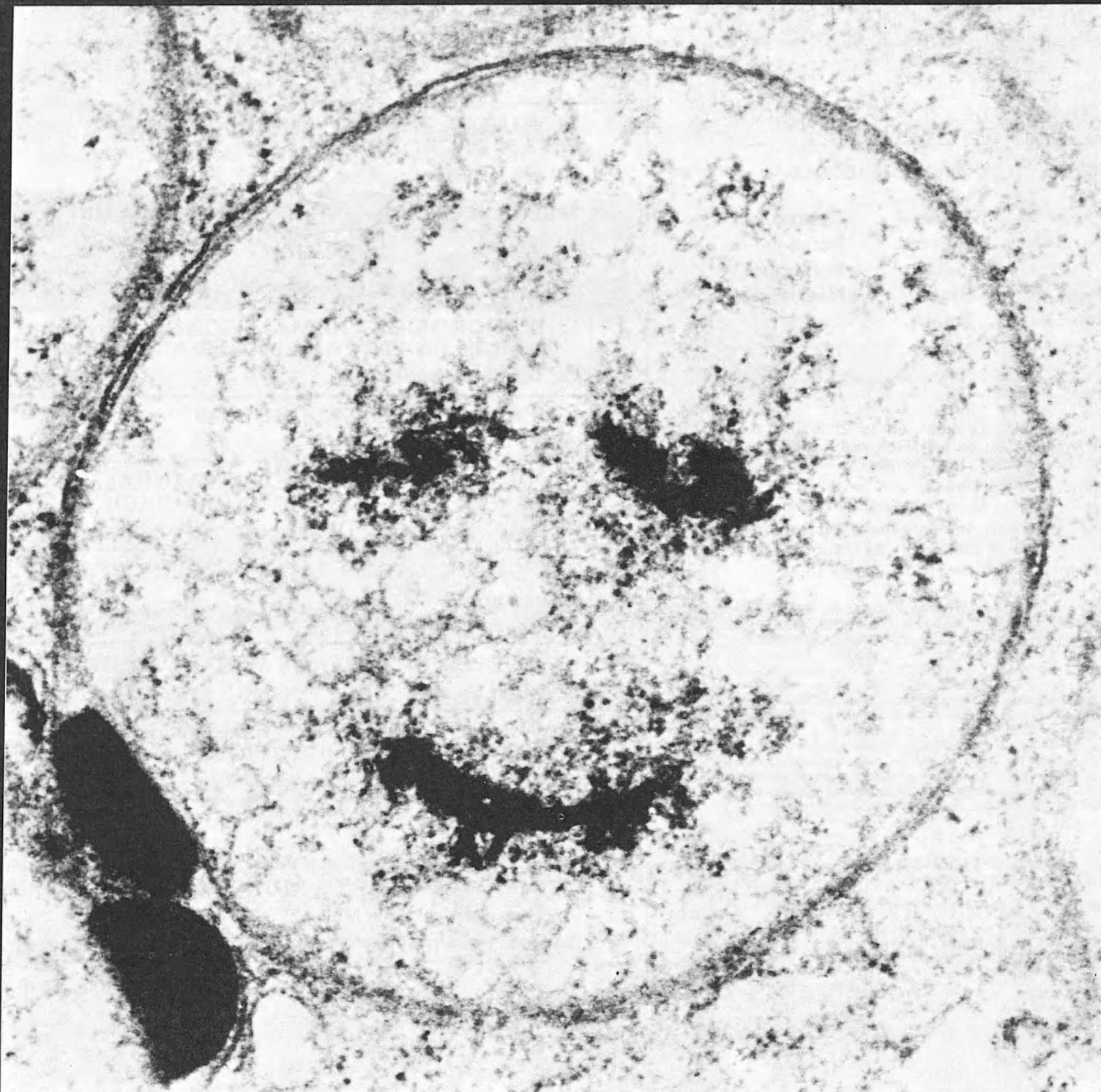
Nuestra portada



Este número de *El Correo de la Unesco* está dedicado al importante papel que la microbiología desempeña en el mundo moderno y a los servicios cada vez mayores que los microorganismos, domesticados por los científicos, prestan al hombre en la esfera de la salud, la agricultura, la industria, etc. Los artículos del número han sido preparados con la cooperación del Comité de Expertos sobre Microbiología Aplicada de la Comisión Mixta Unesco-ICRO (Organización Internacional de Investigaciones Celulares). En cuanto al dibujo de la portada, forma parte de la historieta ilustrada sobre la microbiología que incluimos en este número con el título de *Don Microbio y su familia numerosa* (véase la nota de la pág. 5, arriba).

Dibujo de Jean-Marie Clément

© El Correo de la Unesco



Las fotografías de esta página ilustran una curiosa artimaña de la naturaleza. El sonriente rostro de arriba y la frase «Have a happy day» (Buen día) no son obra de ningún artista. Por sorprendente que parezca, ambos están constituidos a base de formas naturales tomadas del material genético de grandes bacterias (bacteroides) encontradas en las raíces de un cacahuete o maní. Al examinar con un poderoso microscopio los tejidos de las raíces de la planta, los científicos del laboratorio de bioquímica aplicada del Departamento de Investigaciones Científicas e Industriales de Nueva Zelanda se extrañaron viendo la gran frecuencia con que el material genético de esas bacterias se presentaba en forma de letras del alfabeto latino. Con micrografías tomadas de esas letras los microbiólogos Alan S. Craig y K. L. Giles formaron la frase «Have a happy day». La micrografía de la derecha muestra un tipo de bacteria en una sola célula de raíz de cacahuete, en la que las letras «genéticas» del alfabeto (señaladas con flechas) aparecían entre otras muchas formas.

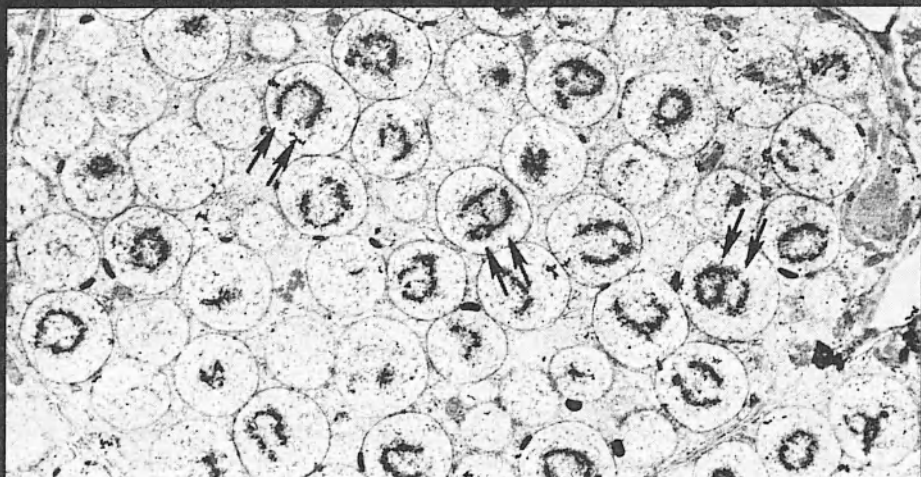
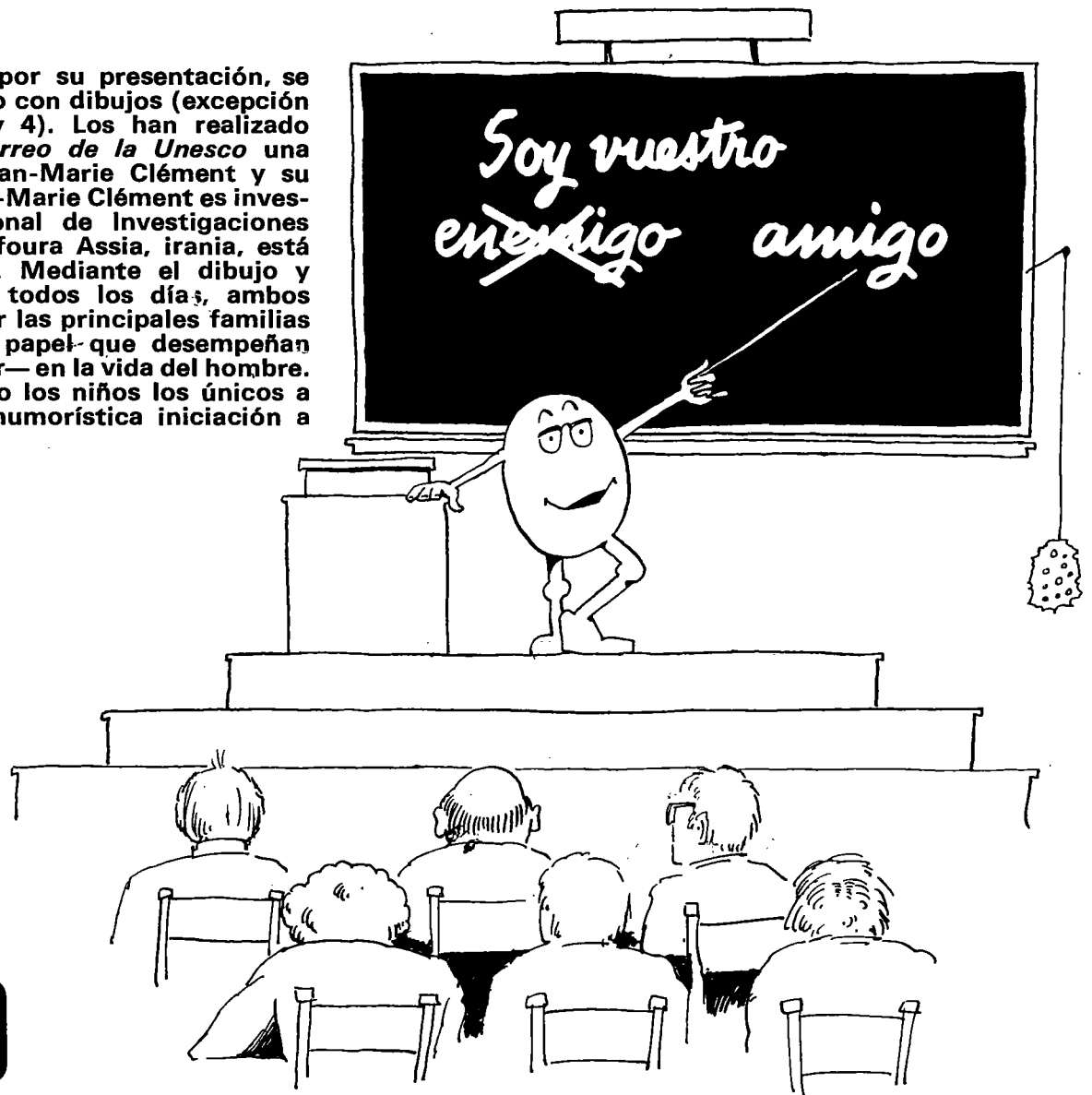


Foto © Departamento de Investigaciones Científicas e Industriales, Nueva Zelanda

Este número, inhabitual por su presentación, se halla enteramente ilustrado con dibujos (excepción hecha de las páginas 2 y 4). Los han realizado especialmente para *El Correo de la Unesco* una pareja de científicos: Jean-Marie Clément y su esposa Safoura Assia. Jean-Marie Clément es investigador del Centro Nacional de Investigaciones Científicas de Francia. Safoura Assia, irania, está especializada en genética. Mediante el dibujo y utilizando el lenguaje de todos los días, ambos biólogos nos dan a conocer las principales familias de microorganismos y el papel que desempeñan —o que pueden desempeñar— en la vida del hombre. No serán seguramente sólo los niños los únicos a los que resulte útil esta humorística iniciación a la microbiología moderna.



EL NUEVO MUNDO DE LA MICROBIOLOGIA

por Elie L. Wollman

ELIE L. WOLLMAN, *geneticista e investigador francés, es profesor del Instituto Pasteur, de París, de cuya subdirección se encarga desde 1966. Ha escrito, en colaboración con François Jacob, una obra importante sobre La sexualité des bactéries (Masson, París, 1959). Su campo de investigación principal es la genética de las bacterias y de los bacteriófagos.*

EN la segunda mitad del siglo XVII, el comerciante de paños holandés Antonie Van Leeuwenhoek, a través de los microscopios que él mismo fabricaba, descubrió el mundo insospechado de los microorganismos, los cuales le impresionaron tanto por su extraordinaria ubicuidad como por la suma diversidad de sus formas.

Dos siglos más tarde, Luis Pasteur demostraba el papel que los microorganismos desempeñan en los procesos naturales. Todo el mundo quedó asombrado de que tan diminutos seres fueran los responsables de tantos fenómenos que hasta entonces habían sido considerados como inexplicables, fenómenos a veces beneficiosos, como la producción del vino y la cerveza, otras perjudiciales, como numerosas enfermedades de animales y hombres.

Durante mucho tiempo esta diver-

sidad de efectos producidos por los microorganismos retuvo la atención de los investigadores. Su importancia para la salud pública, las industrias alimentarias y la agricultura era tal que se estudiaban más los microbios por lo que *hacían* que por lo que *eran*.

Entretanto, el mismo Pasteur había puesto de manifiesto la *especificidad* de la acción de los microorganismos: cada fenómeno particular (cada enfermedad, por ejemplo) era debido a una especie particular. Los microbiólogos, especialmente a impulsos de Robert Koch, se dedicaron a ultimar los métodos que les permitiesen cultivar, aislar y caracterizar las especies microbianas.

En el caso de las bacterias, resultó relativamente fácil. A fin de posibilitar su estudio, y de una manera empírica por lo general, se fueron elaborando

Lo que les debe la microbiología

ANTONIE VAN LEEUWENHOEK (1632-1723), naturalista holandés. Fabricante y comerciante de paños, se servía del cuentahilos (especie de microscopio para contar los hilos), lo que sin duda explica su pasión por las lentes de aumento. Las fabricaba cada vez más potentes, hasta que pudo descubrir los cuerpos «infinitamente pequeños», es decir los microbios, así como las levaduras y los glóbulos de la sangre.

LUIS PASTEUR (1822-1895), químico y biólogo francés. Precursor genial de la microbiología, logró explicar la acción general de los microorganismos. Su nombre ha quedado unido al descubrimiento de la vacuna contra la rabia (1885). Estudió la enfermedad de los gusanos de seda, llamada pebrina, descubrió los estafilococos y elaboró una vacuna contra el carbunco.

ROBERT KOCH (1843-1910), médico alemán. Descubrió el bacilo de la tuberculosis, que lleva su nombre, y el *Vibrio comma*, transmisor del cólera. Por sus notables trabajos, que hicieron posible luchar contra esas dos plagas, obtuvo el Premio Nobel de Medicina en 1905.

ELIAS MECHNIKOV (1845-1916), zoólogo y biólogo ruso. Premio Nobel de Medicina en 1908 por sus trabajos sobre inmunología, se le deben importantes descubrimientos, como el de la fagocitosis, función mediante la cual algunas células animales absorben los microbios y los digieren.

CARLOS JUAN FINLAY (1833-1915), médico cubano. Su descubrimiento principal fue el de la transmisión de la fiebre amarilla por los mosquitos (confirmado posteriormente por los trabajos del norteamericano Walter Reed), lo que iba a permitir aislar el virus de esa enfermedad y poner coto a sus estragos.

SIR ALEXANDER FLEMING (1881-1955), médico y bacteriólogo inglés. Ya en 1928, al estudiar los mohos, descubrió que uno de ellos segregaba una sustancia, la penicilina (que inhibe la temible acción nociva de los estreptococos), cuya extracción realizaron en 1939 Boris Chain y Howard Florey, científicos ingleses con quienes Fleming compartió el Premio Nobel en 1945.



una gama de procedimientos y de métodos. En cambio, una cierta clase de microorganismos, agentes de enfermedades como la rabia o la poliomielitis, permanecieron invisibles al microscopio y no pudieron cultivarse en medios artificiales; a éstos se les dió el nombre de virus filtrantes porque atravesaban los más finos filtros (más tarde se suprimió el adjetivo).

Los bacteriólogos constataron la extraordinaria diversidad de las propiedades de los organismos que estudiaban. En efecto, algunas bacterias sólo podían desarrollarse en medios orgánicos muy complejos; otras, en cambio, crecían en medios sintéticos simples. Algunas únicamente se desarrollaban en presencia del aire (bacterias aerobias) y otras nada más que en su ausencia (bacterias anaerobias). Unas se aclimataban a medios muy ácidos, otras a medios alcalinos; a elevadas temperaturas unas, a bajas temperaturas otras.

La microbiología ofrecía por consiguiente un vasto campo de estudios. A partir de ella y a su alrededor, iban cristalizando otras disciplinas: la virología, como acabamos de ver, en que el agente infeccioso sólo podía ser cultivado dentro de un medio ambiente sensible (planta, insecto, animal); la epidemiología, que estudiaba la diseminación de los microorganismos en la naturaleza, sus mecanismos de propagación y los métodos para controlarla; la quimioterapia, que investigaba las formas de lucha contra los microorganismos, etc.

Las bacterias y la biología celular: la unidad del mundo viviente

Durante mucho tiempo la microbiología se desarrolló con relativa independencia respecto de las demás disciplinas biológicas. El objeto de éstas era el estudio de los organismos

pluricelulares complejos, diferenciados.

Fue necesario esperar a que nacieran la fisiología y la bioquímica celular para que pudieran establecerse relaciones entre el mundo microbiano y el resto del mundo viviente.

Las bacterias son organismos unicelulares. Son muy pequeñas y, por ello mismo, poco accesibles a la observación directa o a la experimentación en un individuo aislado. Constituyen, pues, un caso que en general concierne no a los individuos sino a poblaciones numerosas: un cultivo apenas visible, en un medio líquido, contiene alrededor de diez millones de unidades por centímetro cúbico. Las bacterias, por último, se multiplican por simple división. Han sido todos estos caracteres los que durante largo tiempo las han mantenido fuera del campo de estudio de la biología general.

Sólo fueron admitidas dentro de él a partir del segundo cuarto del presente siglo. Efectivamente, cada bacteria es a la vez una célula y un organismo. A partir de los alimentos que se le suministran a través del medio, crece y se divide dando lugar así al nacimiento de individuos idénticos a la primera bacteria. Numerosas especies pueden cultivarse en medios definidos, pudiendo obtenerse fácilmente cultivos abundantes y homogéneos. De este modo es posible seguir las reacciones bioquímicas mediante las cuales los alimentos se transforman para dar origen a los constituyentes del cultivo bacteriano.

Por otro lado, como hemos visto, el mundo bacteriano es muy diverso. Las especies bacterianas difieren por sus exigencias nutricionales, por los alimentos que son capaces de utilizar, por las fuentes de energía (química, luminosa) que emplean, por las sustancias que pueden degradar. Todas estas reacciones se realizan gracias a los

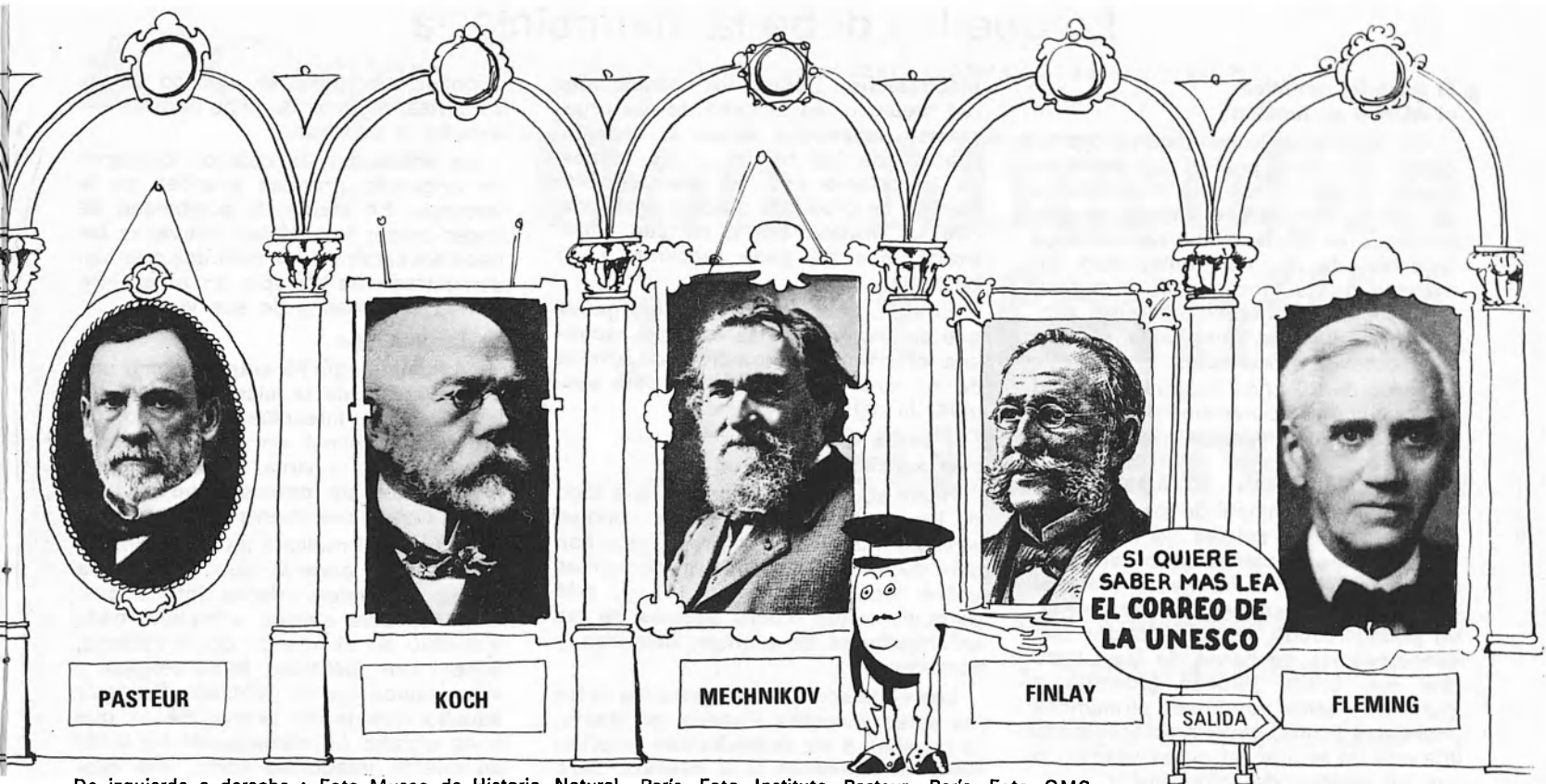
catalizadores biológicos o, enzimas, que son gruesas moléculas proteínicas.

Cada una de estas enzimas posee un carácter sobremanera específico y lleva a cabo una reacción determinada. De ahí que sea posible, a partir de un cultivo de bacterias que se ha reunido, desmenuzado y fraccionado, aislar diferentes enzimas, purificarlas, estudiar sus propiedades y reproducir en el tubo de ensayo las reacciones bioquímicas que catalizan.

Se han podido así distinguir los múltiples eslabones de las vías metabólicas por las cuales se efectúan las transformaciones de los alimentos, además de la biosíntesis de los constituyentes esenciales de la materia viva. De esta manera se ha constatado que, a pesar de la gran diversidad de tipos fisiológicos que se observa en el mundo bacteriano, existían profundas analogías con las grandes vías metabólicas de los demás seres vivos, lo cual confirmaba uno de los grandes conceptos de la biología: diversidad y unidad.

En efecto, las investigaciones realizadas con las bacterias confirmaban los resultados obtenidos paralelamente con los tejidos animales y vegetales. A través de ellas volvían a aparecer los mismos compuestos bioquímicos e idénticas reacciones realizadas gracias a las enzimas que ejercían una función semejante. Dentro de la extrema diversidad y complejidad de vías metabólicas, aparecían encrucijadas esenciales y compuestos claves.

Todas las células incluyen los mismos constituyentes, siendo los principales las macromoléculas: los ácidos nucleicos y las proteínas. Entre los ácidos nucleicos se distingue el ácido desoxirribonucleico o ADN, que se encuentra en el núcleo de la célula, y los ácidos ribonucleicos, que hallamos sobre todo en el citoplasma.



De izquierda a derecha : Foto Museo de Historia Natural, París. Foto Instituto Pasteur, París. Foto OMS. Foto OMS. Foto Museo Histórico de Ciencias Médicas, La Habana. Foto OMS

Las proteínas son grupos moleculares compuestos de ácidos aminados (una veintena de ácidos en total). Entre ellas las más importantes son las enzimas, que constituyen la maquinaria de la célula. Para que las células crezcan y se multipliquen es necesario que los constituyentes celulares sean sintetizados. Lo son merced a un conjunto de mecanismos de una gran complejidad, a partir de los alimentos suministrados a la célula. Estos alimentos son transformados mediante reacciones enzimáticas que proporcionan a la vez los eslabones elementales que van a servir para la síntesis y la energía necesaria para que esas mismas reacciones enzimáticas puedan llevarse a cabo.

Así, más allá de la extremada diversidad con que se nos presentan los seres vivos, existen mecanismos fundamentales que les son comunes. Esta unidad profunda ha sido descubierta gracias a los microorganismos.

El encuentro de la bioquímica y la genética

Los primeros contactos entre la fisiología microbiana y la fisiología de los organismos superiores tuvieron lugar hacia los años treinta, a través de los estudios de la nutrición. Se observó entonces que ciertas sustancias (aminoácidos, bases púricas o pirimídicas, vitaminas) eran indispensables para el crecimiento de los microorganismos y de los organismos superiores.

Gracias sobre todo a los trabajos de André Lwoff en el Instituto Pasteur, de París, apareció la noción de *metabolitos esenciales*, es decir de sustancias indispensables a los seres vivos, y la noción correlativa de que los organismos a los cuales era necesario abastecer resultaban incapaces de realizar la síntesis.

Esta noción fue aprovechada una decena de años más tarde por Georges Beadle y Edward Tatum, de la universidad de Stanford, California, para sus trabajos genéticos sobre el moho *Neurospora crassa*.

A partir de los descubrimientos de Gregor Mendel, los genetistas estudiaron los resultados de los cruces en los organismos dotados de reproducción sexuada: los guisantes, el maíz, la mosca del vinagre o drosófila. Los caracteres observados eran caracteres morfológicos complejos: la coloración de las flores, el aspecto de las semillas, la longitud de las alas, etc.

Habían establecido así la existencia de unidades hereditarias o genes, dispuestos linealmente sobre los cromosomas contenidos en los núcleos de las células. Cada carácter observable era regido por un gene particular, pero se ignoraba la naturaleza de los genes y la manera como el *genotipo* (la información contenida en los genes) controlaba el *fenotipo* (el aspecto que presentaba el individuo).

El hongo *Neurospora crassa* puede ser cultivado en un medio definido. Los cruzamientos pueden realizarse en raíces que presentan caracteres diferentes y sus resultados analizados de manera cuantitativa. Beadle y Tatum tuvieron la idea de inducir, mediante agentes mutágenos (rayos X o luz ultravioleta), mutantes de *Neurospora* muy exigentes en cuanto a factores de crecimiento, es decir incapaces de desarrollarse en el medio sencillo que conviene a la raíz original.

Obtuvieron de este modo un gran número de raíces diferentes, caracterizadas por una necesidad específica en cuanto a factores de crecimiento. Por medio de cruzamientos adecuados demostraron que cada carácter nutricional está gobernado por un gene y que cada gene ocupa un lugar parti-

cular en uno de los cromosomas de la *Neurospora*.

Más aún, cada gene controla la síntesis de una enzima particular que se halla presente en la raíz de origen o raíz salvaje y ausente en el mutante. Es la famosa hipótesis un *gene-una enzima* que establecía la relación entre la genética y la bioquímica, el mecanismo por el cual el gene se expresa como carácter.

Hasta ese momento, las bacterias habían permanecido completamente al margen de la genética. En efecto, las bacterias se reproducían por simple división, y no se conocían todavía los mecanismos de transferencia genética que fueron descubiertos más adelante. Sin embargo, en un cultivo de bacterias se puede poner de manifiesto la presencia de mutantes espontáneos que difieren del tipo general por tal o cual carácter. Por ejemplo, en un cultivo de colibacilos, incapaz de utilizar un azúcar (la lactosa, Lac⁻) y sensible al antibiótico de la penicilina (Pen^s), existen mutantes Lac⁺ capaces de utilizar la lactosa y otros Pen^r resistentes a la penicilina.

Tratando el colibacilo, que se desarrolla en un medio sintético simple por agentes mutágenos, es posible también, como ha demostrado Edward Tatum, aislar mutantes nutricionales exactamente como en el caso del moho *Neurospora*. Esos mutantes son enteramente comparables a los de esta última. Cada carácter se halla controlado por un gene que dirige la síntesis de una enzima específica.

Algunos años después, se descubrieron y analizaron numerosos mecanismos de transferencia genética de una a otra bacteria. Los genes de las bacterias se convirtieron en el elemento elegido para estudiar la naturaleza del material genético y los mecanismos de su funcionamiento.

► El material genético: el ADN y su función

Un fenómeno extraordinario descubierto en 1928 por el bacteriólogo inglés Fred Griffith había permanecido sin explicación durante mucho tiempo. Poniendo en contacto los neumococos (agentes de la neumonía) con un extracto de neumococos de otro tipo, éstos adquirirían hereditariamente propiedades del tipo que había servido para obtener el extracto.

Cerca de 20 años después, Oswald Avery y sus colaboradores del Instituto Rockefeller demostraron que la sustancia activa era el ácido desoxirribonucleico o ADN. El ADN es el constituyente principal de los cromosomas de todas las células. Se encuentra en todas las bacterias y en un gran número de virus. El ADN es el material genético. Es una molécula muy gruesa, un polinucleótido, constituido por una concatenación de bases de las cuales dos son bases púricas (adenina y guanina) y otras dos bases pirimídicas (citosina y timina), relacionándose cada una con un azúcar, el desoxirriboso, y con un residuo de ácido fosfórico; el conjunto base-azúcar-ácido fosfórico constituye un nucleótido.

En 1953, en Cambridge, Inglaterra, Francis Crick y James Watson propusieron un modelo de la estructura del ADN. Según este modelo el ADN está constituido por dos cadenas complementarias enroscadas en forma de hélice la una alrededor de la otra. Este modelo explica todas las propiedades que cabe estimar propias del material genético y la experiencia adquirida desde hace veinte años ha demostrado su validez. Se comprende en particular cómo el material genético se reproduce y perpetúa idéntico a sí mismo de generación en generación.

En realidad, la expresión del mensaje genético contenido en el ADN se realiza por medio de mecanismos extremadamente complicados que han sido elucidados gracias en particular a los trabajos de François Jacob y Jacques Monod, del Instituto Pasteur. El ADN se encuentra en el núcleo. La síntesis de las proteínas se realiza en el citoplasma, en regiones ricas en otro ácido nucleico, el ácido ribonucleico o ARN que difiere del ADN en que el azúcar desoxirriboso es sustituido por el riboso y la timina por la uracilina.

Se ha demostrado que la información genética contenida en el ADN es primero *transcrita* en forma de un ARN mensajero que es una copia exacta del segmento de ADN que trata de traducir. El ARN mensajero emigra del núcleo hacia el citoplasma, donde se junta a organitos particulares llamados ribosomas (porque están compuestos de ARN y proteínas). Al entrar en contacto con los ribosomas, el ARN mensajero es *traducido* en una proteína específica.

Los procesos de la transcripción y de la traducción genética obedecen a mecanismos muy complejos y se hallan sometidos a sutiles regulaciones, a la manera de los circuitos

electrónicos. Según las condiciones del medio o, en el caso de los organismos superiores, según la especialización de las células y los tejidos, es importante que tal reacción bioquímica se produzca o no se produzca, que tal enzima sea o no sea sintetizada, que tal gene funcione o no funcione.

Existen, pues, al lado de los genes que codifican para las enzimas, genes que intervienen en los diversos niveles de los circuitos metabólicos para asegurar la regulación.

Los seres vivos más sencillos: los virus

Hasta aquí hemos tratado sobre todo de las bacterias. Pero existe también el vasto mundo de los virus. Estos han sido durante mucho tiempo conocidos sobre todo por sus efectos y, más particularmente, como agentes de las enfermedades de plantas, animales y hombres.

Los virus son los más sencillos entre los seres vivos. Poseen, en efecto, la propiedad de reproducirse indefinidamente, idénticos a sí mismos, pero sólo pueden reproducirse en el interior de una célula.

Un virus no es una célula. No dispone, en efecto, más que de un solo ácido nucleico que proporciona la información genética del virus: algunos virus contienen únicamente el ADN, otros el ARN. Un virus no posee el mecanismo que permite su reproducción. De ahí que deba utilizar el de la célula huésped. Su identidad y permanencia están aseguradas por el ácido nucleico que es el único reproducido por la célula huésped.

Nuestros conocimientos actuales sobre los virus se deben en gran parte a las investigaciones realizadas con los virus que infectan las bacterias, los bacteriófagos. Muchas de las nociones a que nos hemos referido en este artículo, en particular las propias de la esfera genética, han sido elaboradas gracias a las investigaciones sobre los bacteriófagos.

Algunos de ellos, al infectar las bacterias, se multiplican y las destruyen. Otros bacteriófagos poseen igualmente la propiedad notable de poder integrarse dentro del material genético de la bacteria huésped que sobrevive: el ADN del virus se ha insertado en el ADN del cromosoma bacteriano.

La bacteria transformada (llamada bacteria lisógena) perpetúa hereditariamente su material genético y el del virus, al que se da el nombre de provirus. Algunas veces, tras una mutación, el provirus no puede pasar al estado infeccioso. Se vuelve defectivo y no consigue perpetuarse más que en el estado de provirus.

Se conocen virus de animales que son capaces de provocar cánceres. En este caso, como en el de las bacterias, el ácido nucleico del virus se integra en un cromosoma de la célula: la ha transformado en célula maligna. Se desconocen los virus responsables de los cánceres humanos, pero se puede

suponer que, como en el caso de las bacterias, algunos de ellos podrían ser debidos a provirus.

La utilización de cultivos celulares ha originado grandes avances en la virología. En efecto, la posibilidad de hacer crecer las células cultivadas las hace accesibles a los métodos que han demostrado su eficacia en el estudio de las bacterias y de sus virus.

La inmunología

La inmunología ha surgido como una de las ramas de la microbiología y de la patología infecciosa. Cuando un organismo animal se halla infectado por bacterias o virus, pone en juego mecanismos de defensa que le protegen contra una nueva infección.

Se trata en realidad de un fenómeno mucho más general que la defensa contra las enfermedades infecciosas. Cada especie animal, e incluso cada individuo en el interior de la especie, posee una identidad inmunológica y mecanismos que le permiten distinguir aquello que le es propio de lo que le es extraño. Lo ajeno puede ser tanto un agente infeccioso como una sustancia proveniente de otra especie, o incluso la sangre o un órgano de un individuo de la misma especie.

No es este el momento de describir los complejos mecanismos de la respuesta inmunizadora. En todo caso, se observa que esta respuesta puede ser favorable cuando se protege al individuo contra las influencias extrañas, pero también desfavorable cuando conduce a una sensibilización del individuo (alergia, por ejemplo), a un accidente de transfusión o a un rechazo de trasplante.

El estudio de los microorganismos y de los efectos que producen ha aportado, por consiguiente, una gran contribución a la comprensión del mundo vivo. Gracias en particular a una constante colaboración entre el enfoque genético y el enfoque bioquímico, ha sido posible desvelar la profunda unidad de los mecanismos fundamentales que presiden el funcionamiento de los seres vivos.

Esta idea, implícita en la teoría de la evolución enunciada por Darwin hace poco más de un siglo, se ve ahora ratificada por un conjunto de hechos impresionantes. La revolución que así se ha producido en el campo de las ciencias biológicas sólo puede compararse con la explosión que sobrevino en las ciencias físicas, un cuarto de siglo antes, con el triunfo de la física nuclear.

Este nuevo enfoque de los fenómenos biológicos, que trata de analizarlos según la estructura y la función de los compuestos químicos en juego, ha recibido el nombre de *biología molecular*.

Tras los éxitos clamorosos obtenidos en el estudio de los organismos más simples, las bacterias y los virus, los conceptos y los métodos de la biología molecular se extienden hoy día al conjunto de las disciplinas biológicas y médicas.

Elie L. Wollman

Don Microbio y su familia numerosa

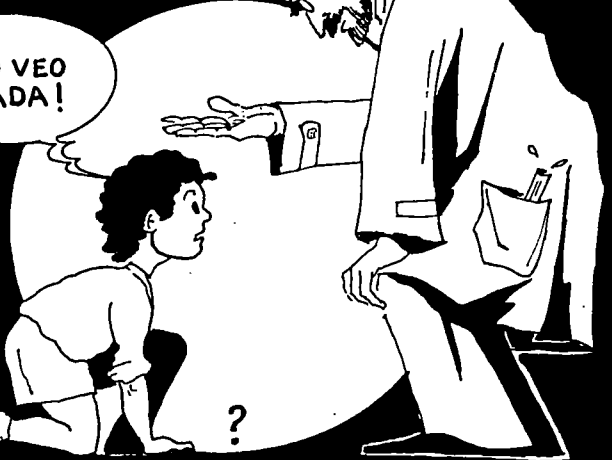
por Jean-Marie Clément
y Safoura Assia

© *El Correo de la Unesco*





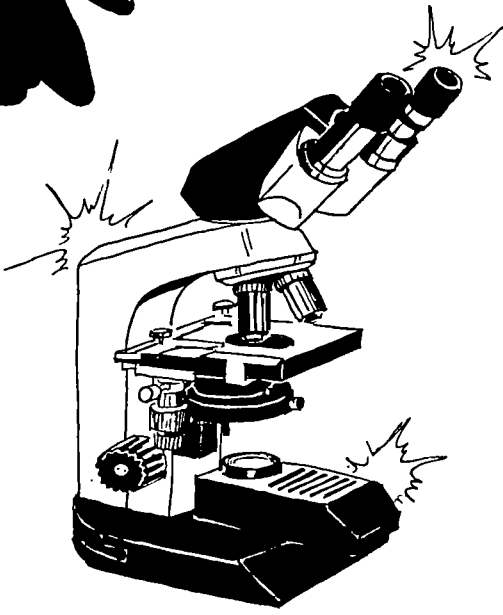
¡NO VEO NADA!



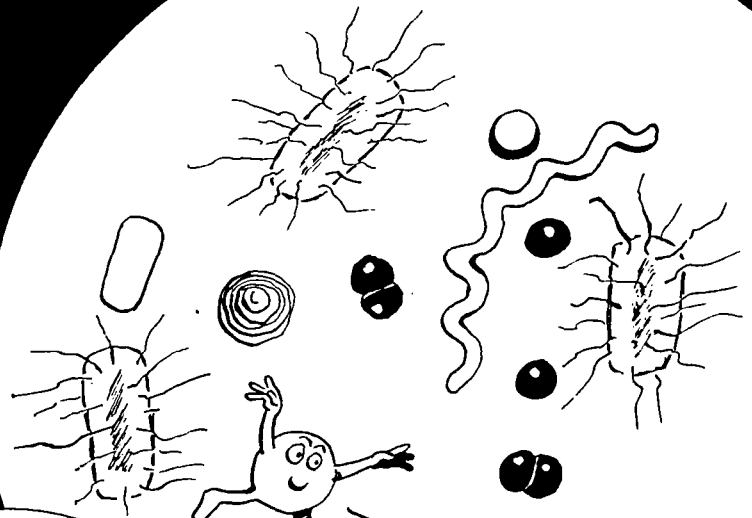
¡CLARO!
COMO QUE SON
MUY~
PEQUEÑOS

PARA VER A
LOS MICROBIOS SE
NECESITA UN BUEN
MICROSCOPIO

¡MIRA!



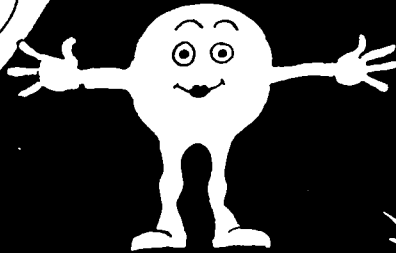
BUENO
PUES SI QUE SON COM-
PLICADOS LOS HOMBRES
CON SUS APARATOS. NOS-
OTROS LO SOMOS
MUCHO MENOS



PERO NOSOTROS
LOS MICROBIOS
SOMOS MUY DIFEREN-
TES UNOS DE
OTROS ...

HAY LAS
BACTERIAS
...

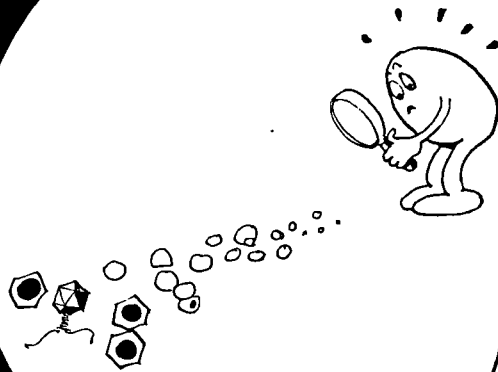
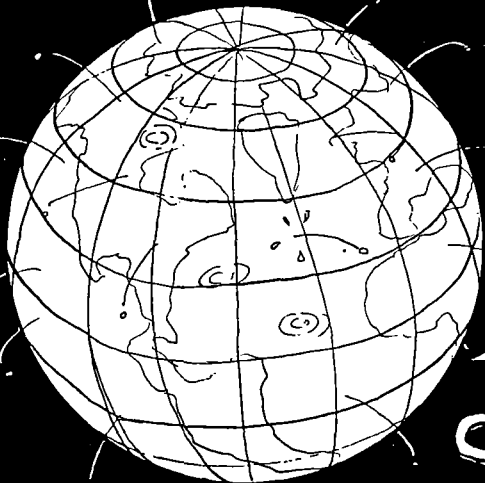
LOS HAY
GRANDES. POR
EJEMPLO, LAS
LEVADURAS DE
LA CERVEZA



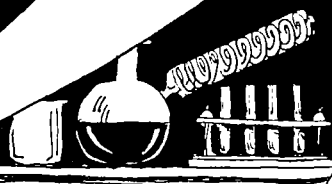
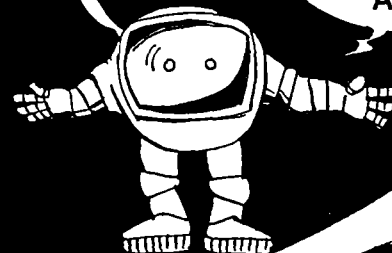
LOS HAY DE
DE TODAS CLASES

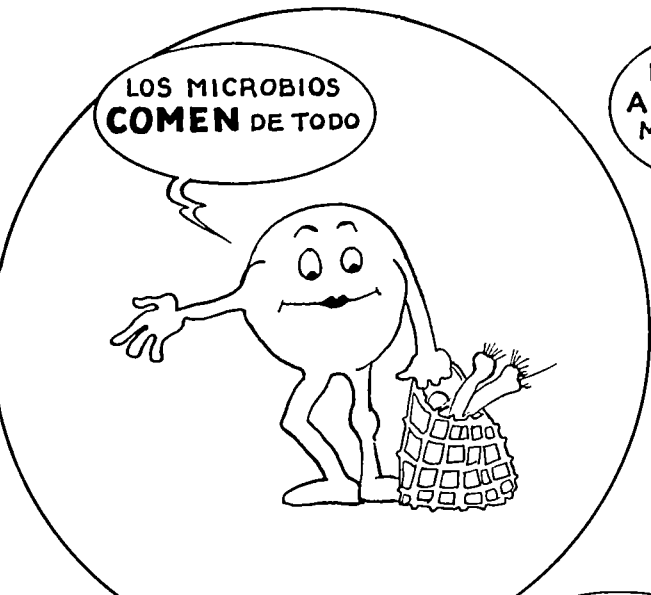
... Y LOS MAS
PEQUEÑITOS, LOS
VIRUS

¡ VAYA! ¡ QUE
INTERESANTE!



Y ESTAN EN
TODAS PARTES :
EN LA TIERRA, EN
EL AGUA, EN EL
AIRE

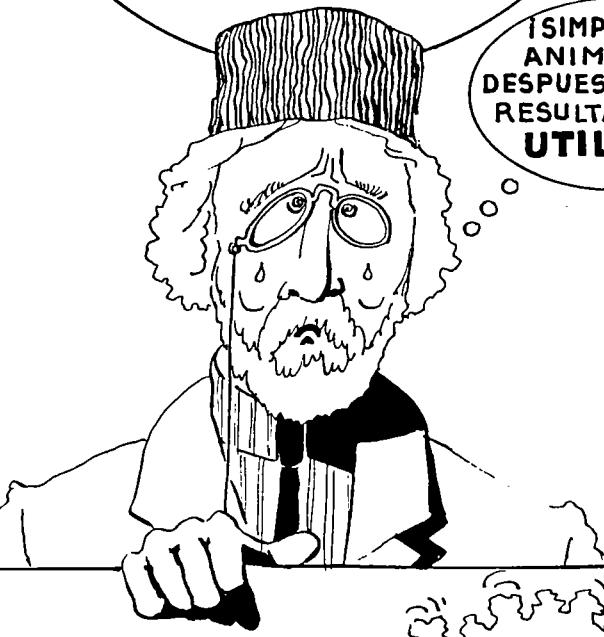
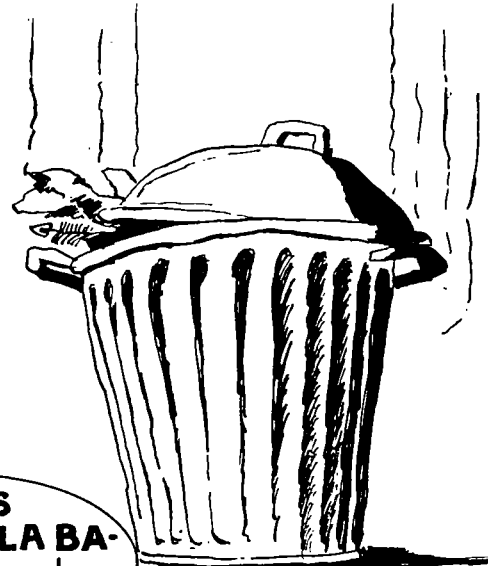




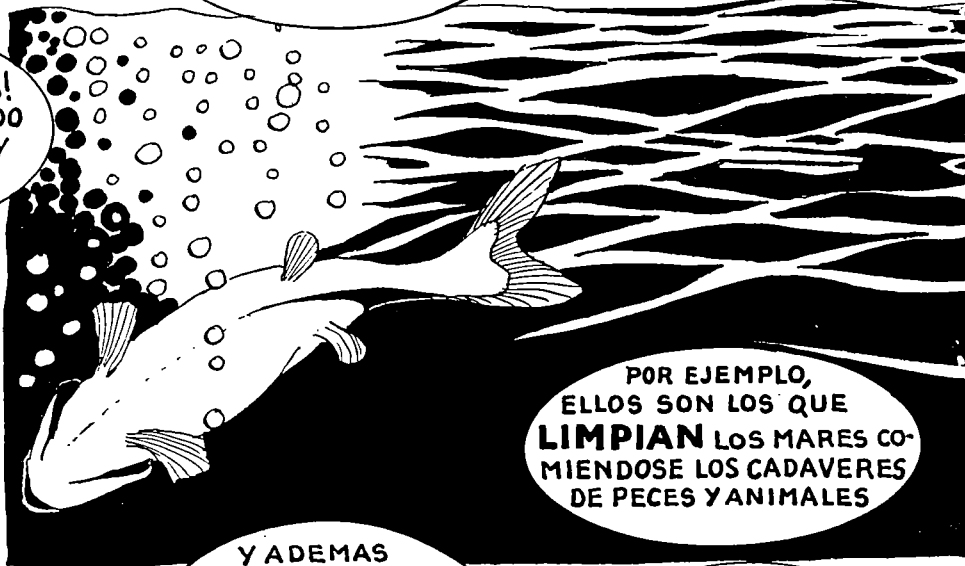
POR EJEMPLO A MI LO QUE ME GUSTA...



...¡SON LOS **CUBOS DE LA BASURA!** ¡QUE RICO! NO DEJO NI PIZCA



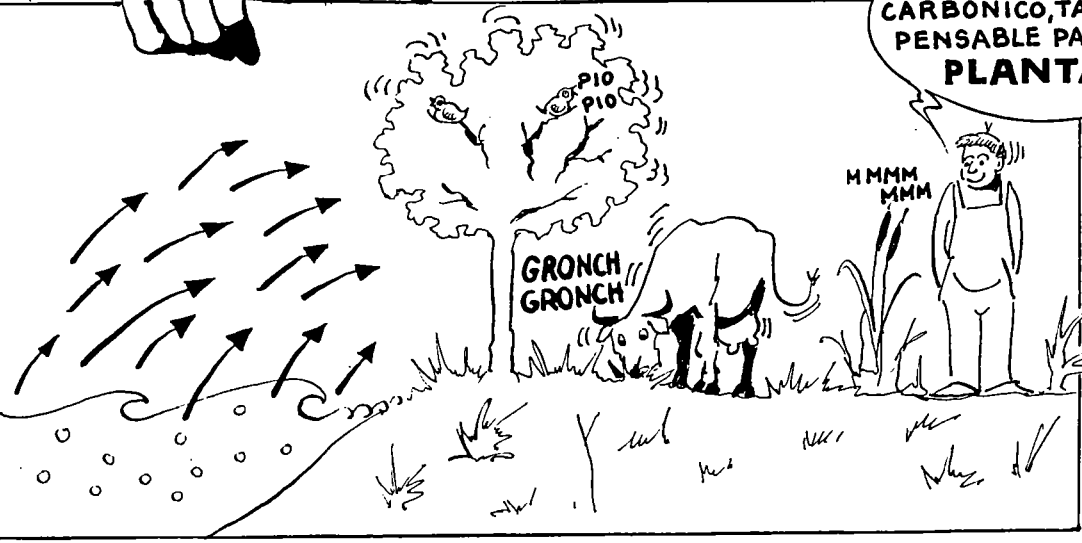
¡SIMPATICOS ANIMALITOS! DESPUES DE TODO RESULTAN MUY **UTILES**



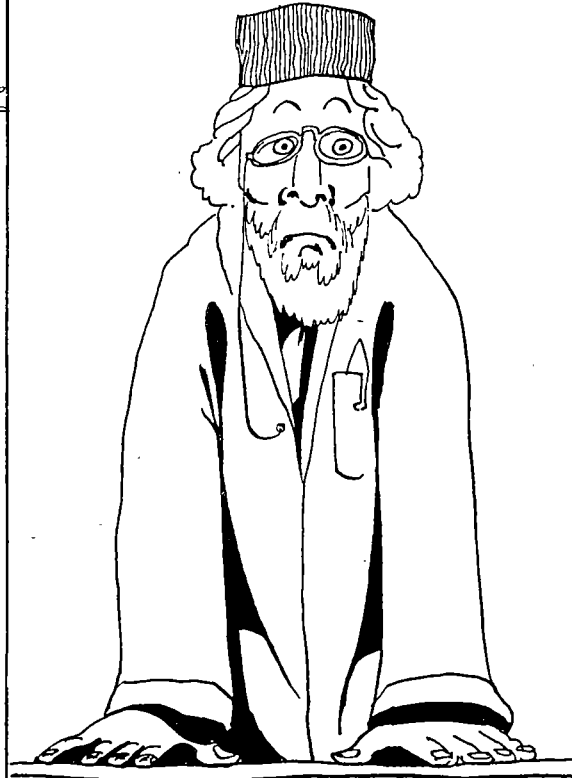
POR EJEMPLO, ELLOS SON LOS QUE **LIMPIAN** LOS MARES COMIENDOSE LOS CADAVERES DE PECES Y ANIMALES

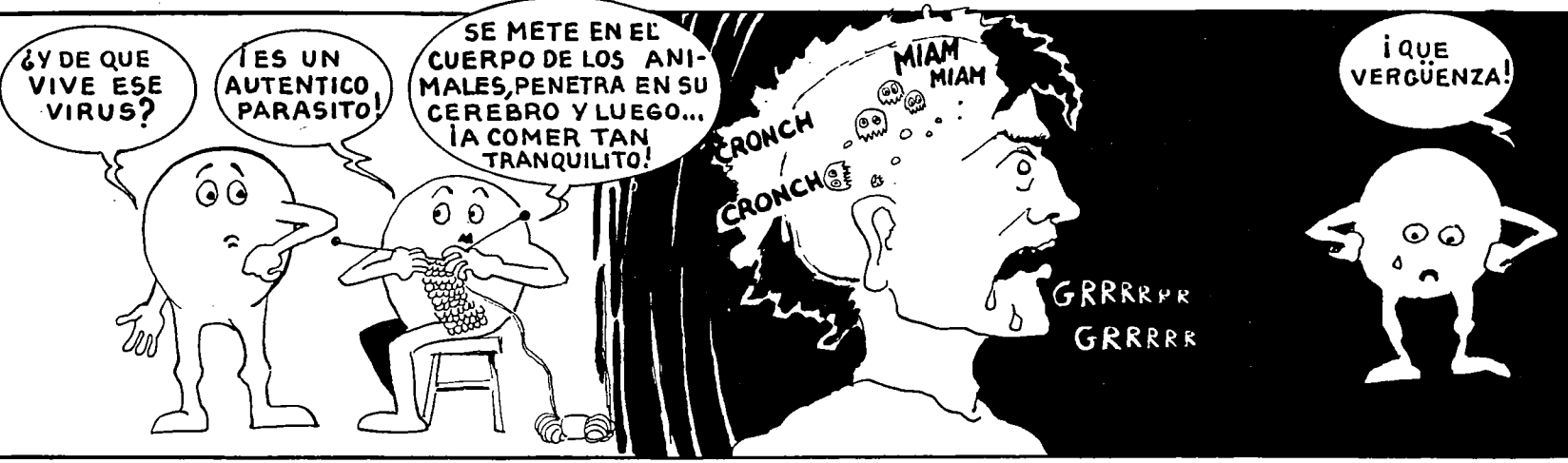
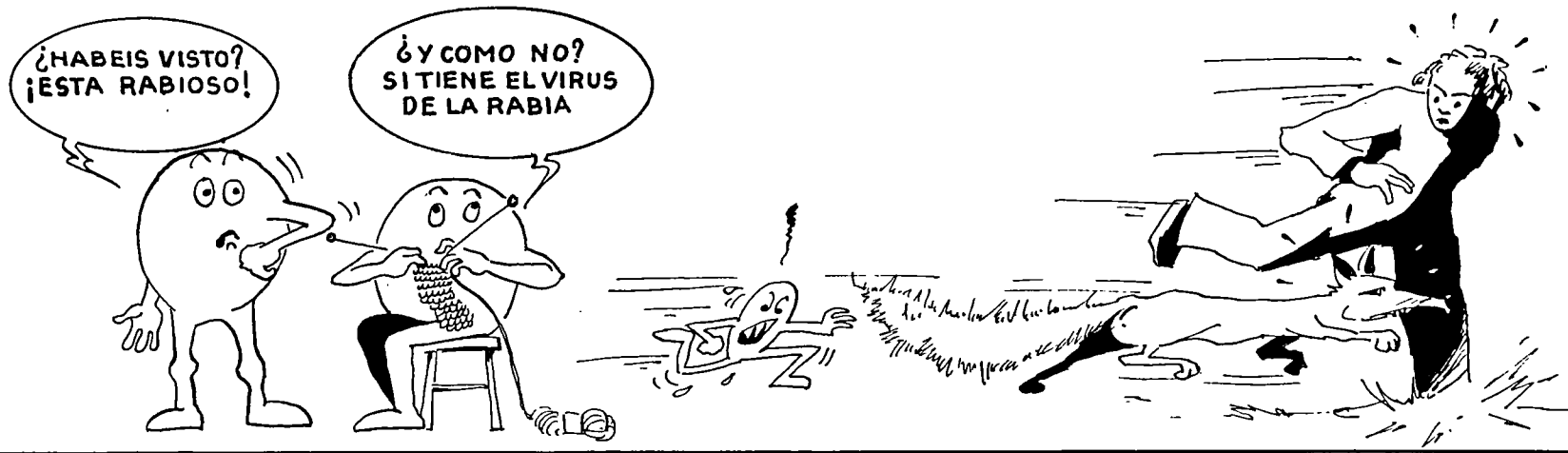
Y ADEMAS ASI SE PRODUCE GAS CARBONICO, TAN INDISPENSABLE PARA LAS **PLANTAS**

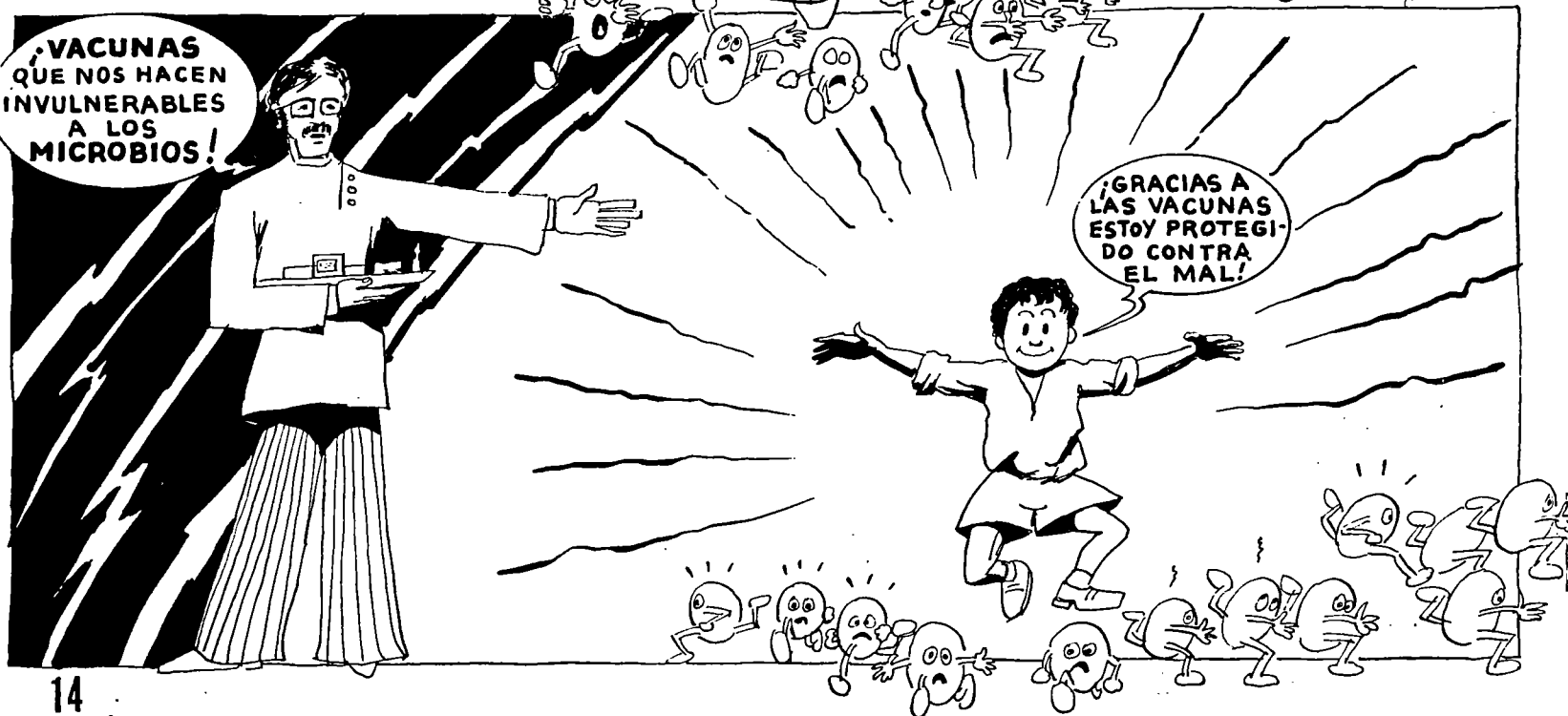
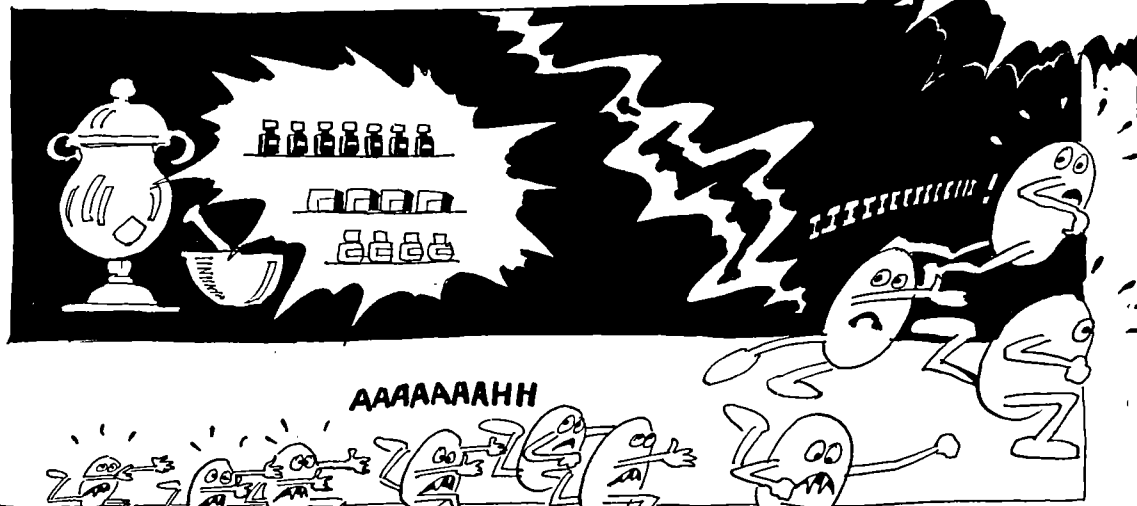
ES DECIR QUE SI NO HUBIERA BACTERIAS, NO HABRIA ABSOLUTAMENTE NADA QUE COMER



SIN GAS CARBONICO NO HAY PLANTAS Y SIN PLANTAS NO HAY ANIMALES





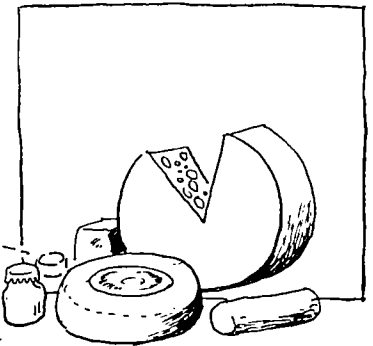
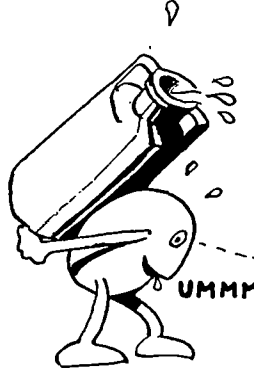
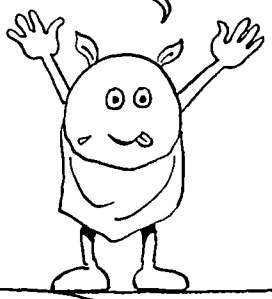
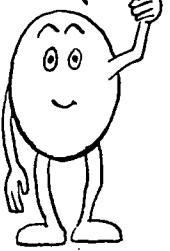
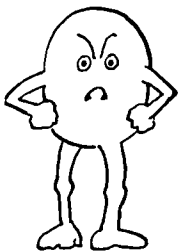


Y, SIN EMBARGO,
NO TODOS LOS
MICROBIOS SON
PELIGROSOS PARA
EL HOMBRE

¡MUCHOS
SON INCLUSO
UTILES!

POR
EJEMPLO.

..ESAS BACTERIAS
QUE TRANSFOR-
MAN LA LECHE
EN QUESOS



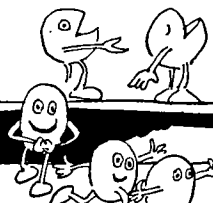
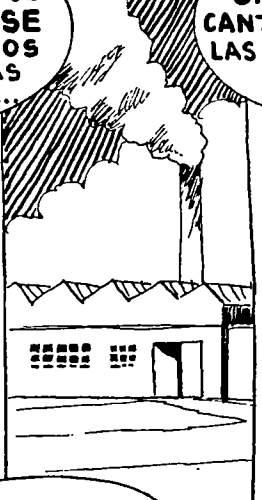
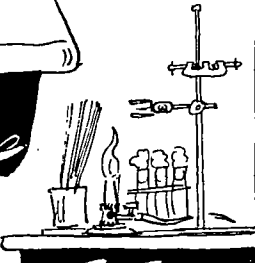
HOY EN LOS
LABORATORIOS PUE-
DEN CULTIVARSE
ESOS MICROBIOS
EN PEQUEÑAS
CANTIDADES...

...O EN
GRANDES
CANTIDADES EN
LAS FABRICAS

BASTA
CON DARLES DE
COMER

A MENUDO CO-
SAS MUY ELE-
MENTALES

POR
EJEMPLO,
AZUCAR..

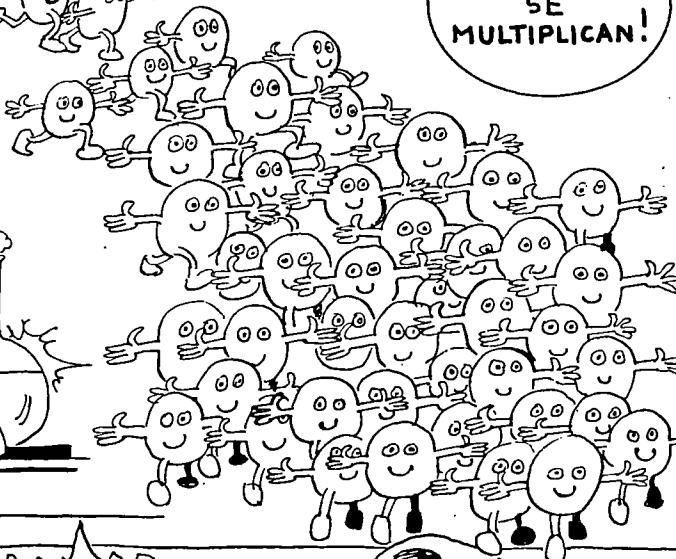
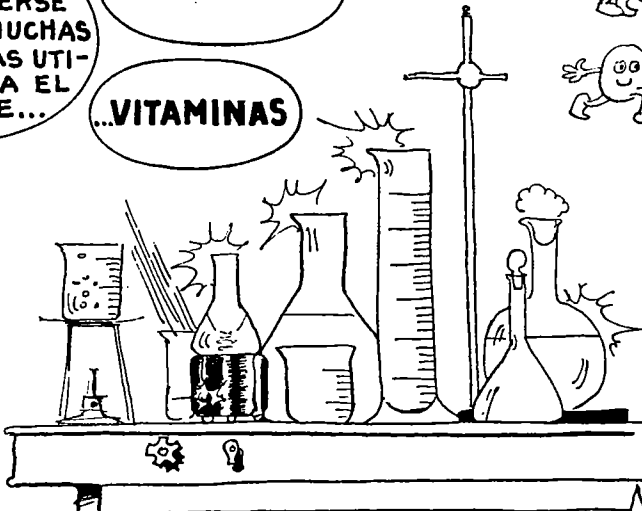


¡Y QUÉ
RÁPIDAMENTE
SE
MULTIPLICAN!

DESPUES PUE-
DEN EXTRAERSE
DE ELLAS MUCHAS
SUSTANCIAS UTI-
LES PARA EL
HOMBRE...

...ANTIBIOTICOS

...VITAMINAS

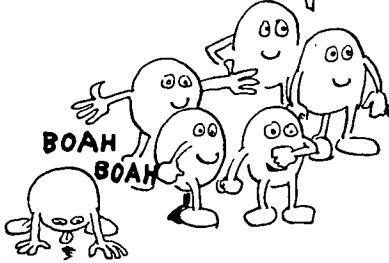
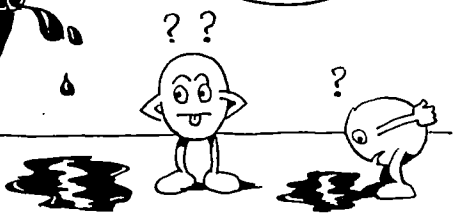


Y YA HASTA
SE LES DA
PETROLEO...

... QUE DESPUES
TRANSFORMAN EN
PROTEINAS...

...EL HOMBRE
UTILIZA ESTAS
COMO
ALIMENTO

QUIZA SE
PUEDA ASI CON-
TRIBUIR UN DIA A
RESOLVER EL PROBLE-
MA DEL HAMBRE
EN EL MUNDO



Los microbios, arma eficaz contra las enfermedades microbianas

por Oganés V. Baroyan

EL misterioso universo de los microbios —esos seres tan minúsculos que resultan invisibles a simple vista— es un descubrimiento relativamente reciente. Su estudio científico data sólo de mediados del siglo XIX.

Y, sin embargo, tan corto periodo de tiempo ha bastado para conseguir una serie de brillantes victorias. En efecto, pocas ciencias tienen un pasado tan prestigioso como la microbiología. Los nombres de pioneros como Luis Pasteur, Elías Mechnikoff, Jaime Ferrán, Robert Koch, Edward Jenner, Carlos Finlay, Dimitri Ivanovski, Gaston Ramon, Alexander Fleming, Nikolai Gamaleya son ya, entre muchos otros, legendarios.

El vivo interés que eminentes sabios de todo el mundo han manifestado siempre por el estudio de los microorganismos no es fruto del azar. En efecto, debido a las afecciones y enfermedades contagiosas que provocan, estas ínfimas criaturas se han mostrado siempre como los peores enemigos del hombre.

Las largas hileras de cruces con que en la Edad Media la peste o «muerte negra» sembraba los cementerios europeos tras exterminar a la mitad de la población del continente, los millares de personas aquejadas de ceguera a causa de la viruela o el tracoma, los centenares y millares de niños paralizados por la poliomielitis, los millones de víctimas de la fiebre amarilla, los veinte millones de muertes causadas por la epidemia de la llamada «gripe española» a comienzos de este siglo, son sólo unas cuantas muestras de los desastrosos resulta-

dos que las infecciones microbianas tienen en su activo.

Y, no obstante, ya en las épocas más antiguas los hombres se afanaban por combatir las enfermedades contagiosas, pese a que ignoraban sus causas. Las primeras tentativas de inoculación voluntaria para protegerse contra la viruela datan de hace tres mil años. Sin embargo, la lucha contra las enfermedades microbianas no llegó a ser eficaz más que con el desarrollo de la experimentación y de la observación propiamente científicas.

Hasta ahora, los investigadores han descubierto y estudiado más de 2.500 tipos de microorganismos. Según algunos microbiólogos, esta cifra no representa más que una décima parte de la «población invisible del planeta». Son, en efecto, incontables las comunicaciones y trabajos científicos que anuncian el descubrimiento de nuevas variedades. Al mismo tiempo, los especialistas profundizan incesantemente sus conocimientos acerca de la constitución, las propiedades y el comportamiento de los microbios.

El universo de los microorganismos presenta una extraordinaria diversidad. Todos estos corpúsculos elementales —bacterias, hongos, virus— poseen un rasgo común: su tamaño liliputiense. Todo es relativo, no obstante, porque el mundo de lo infinitamente pequeño tiene sus «enanos», cuyas dimensiones no sobrepasan las de una molécula gruesa (no se ha logrado distinguirlos y fotografiarlos hasta hace poco tiempo, gracias al microscopio electrónico) y sus «gigantes», cuyo tamaño se mide en micras: son como las ballenas comparadas con las hormigas.

Una característica de los microorganismos que a veces sorprende al investigador es su capacidad de acomodación. Se los encuentra en lugares inadecuados para la vida: en las capas superiores de la atmósfera, en los hielos de la Antártida, en los chorros hirvientes de los géiseres e incluso en los circuitos de refrigeración de los reactores nucleares.

Se multiplican a velocidades inimaginables. En 24 horas, un microorganismo da nacimiento a 70 generaciones. Para alcanzar el mismo resul-

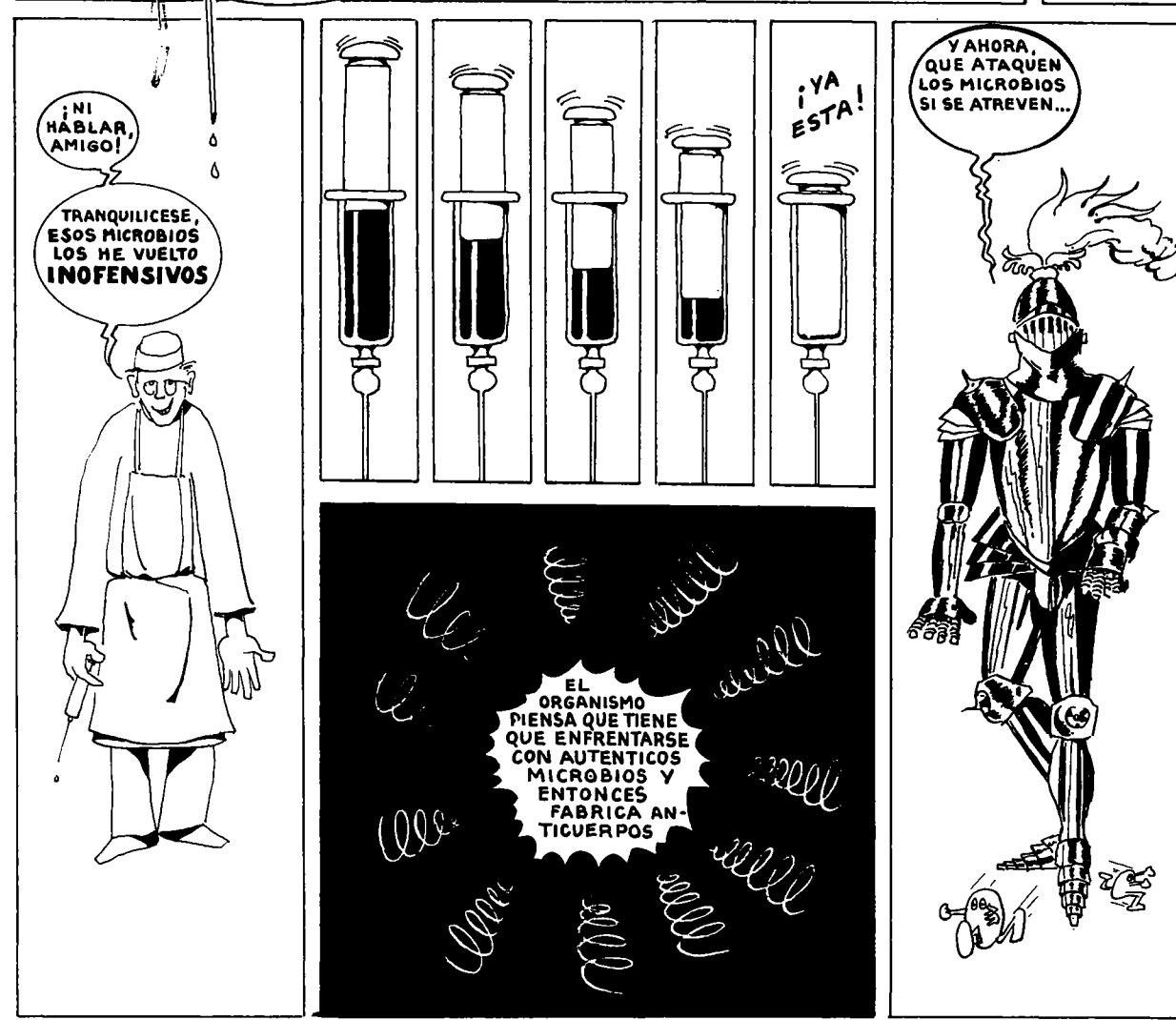
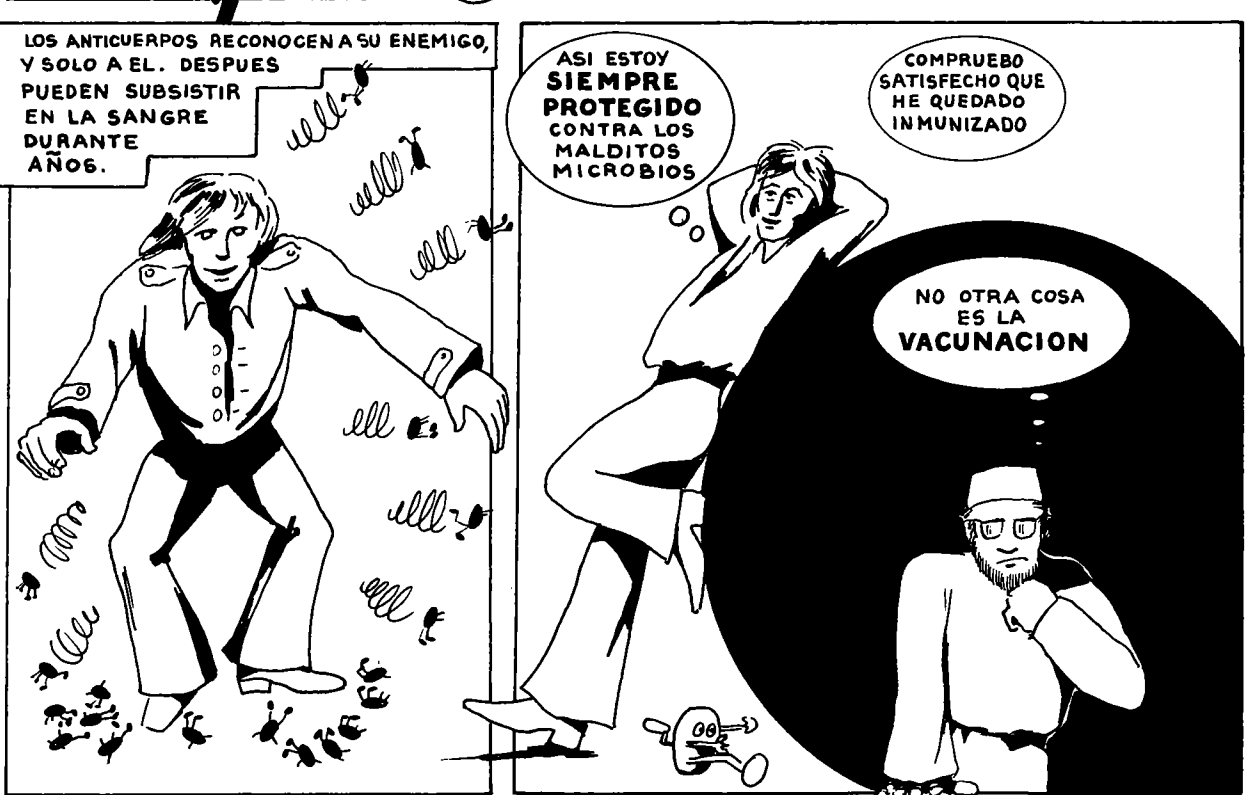
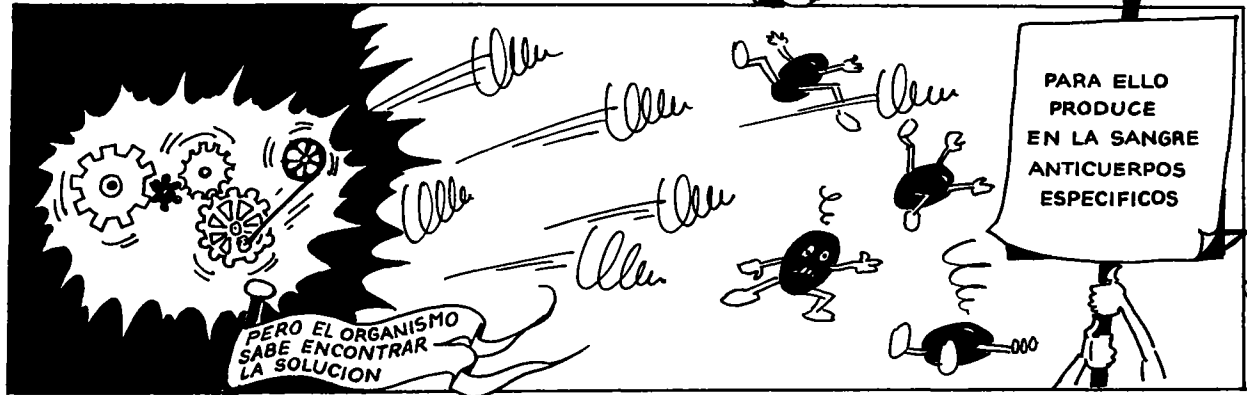
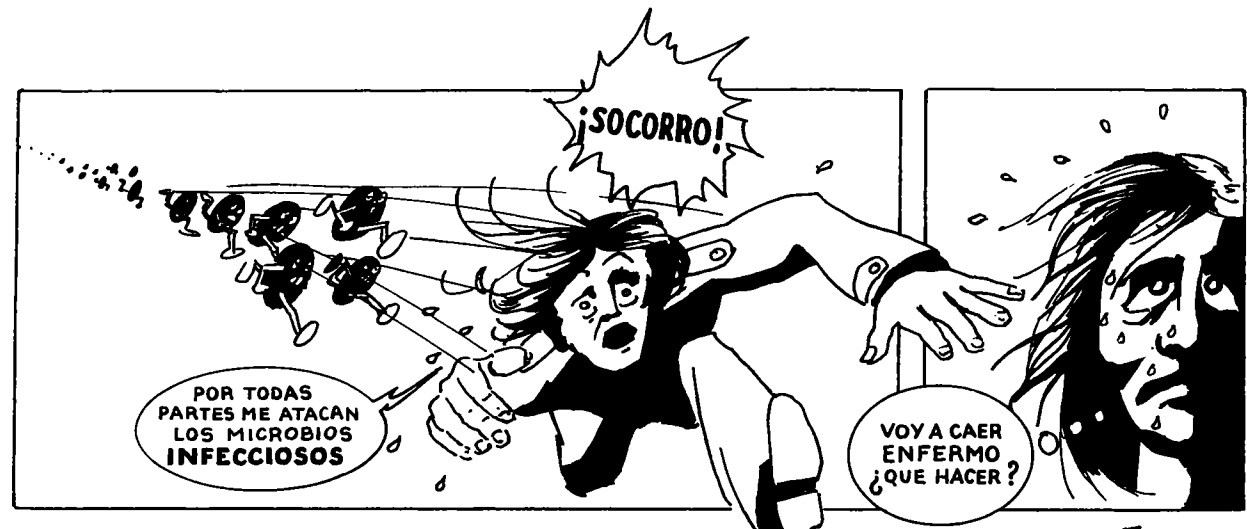
tado la humanidad necesitaría varios milenios. Otra comparación no menos impresionante: el planeta está hoy poblado por unos cuatro mil millones de hombres, mientras que en sólo unas cuantas gotas de un caldo de cultivo cualquiera se hospedan casi siete mil millones de gérmenes.

Con este enemigo tan poco exigente, tan excepcionalmente vivaz y, por añadidura, invisible, la humanidad tiene entablado un duelo a muerte. Y ha ganado paso a paso muchas batallas decisivas. Las infecciones microbianas han cedido terreno: la difteria, la tos ferina, la poliomielitis, el tétanos, la viruela, la peste, el tifus exantemático, entre otras, han experimentado en todo el mundo un declive radical y han desaparecido totalmente en los países desarrollados. El número de enfermedades contagiosas ha disminuido y son las enfermedades cardiovasculares las que tienen ahora el triste privilegio de ocupar el primer puesto en las estadísticas médicas.

Pese a ello, muchas enfermedades infecciosas no han perdido todavía su carácter epidémico. Cada año se registran en el mundo hasta mil millones de casos de infecciones de las vías respiratorias y del intestino. En Asia, África y América Latina siguen haciendo estragos numerosas enfermedades tropicales frente a las que un ejército internacional de investigadores intenta encontrar medios de prevención. Y necesitamos también medidas eficaces para luchar contra plagas sociales como la gripe o la hepatitis infecciosa.

¿Con qué armas cuenta la medicina contemporánea para librar esta batalla? Señalemos de entrada que la propia naturaleza ha provisto al hombre de un «arma de autodefensa» contra los agresores microbianos. Sin esta arma hace mucho tiempo que habría perdido la batalla. En la sangre, en las paredes de los vasos sanguíneos, en los pulmones, en el hígado, en el tejido conjuntivo subcutáneo, en todo el organismo, hay células especiales que montan la guardia. Se abalanzan sobre el microbio que penetra en el interior del organismo y lo devoran. El fenómeno de la fagocitosis fue descubierto en 1883 por el gran científico ruso Elías Mechnikov, que ▶

OGANES V. BAROYAN, uno de los más destacados epidemiólogos soviéticos, fue subdirector general de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 1961 a 1964. Actualmente es director del Instituto Gamaleya de Epidemiología y Microbiología de la Academia de Ciencias Médicas de la Unión Soviética y director de la Facultad de Epidemiología del Instituto Superior de Formación Médica adscrito al Ministerio de Sanidad. Autor de numerosos estudios y artículos sobre las infecciones virales, que se han traducido a varias lenguas, ha sido también consejero de las Naciones Unidas y de la OMS en cuestiones relativas a la prohibición de las armas bacteriológicas.



Dibujos de Jean-Marie Clément © El Correo de la Unesco

al individuo. Son las infecciones generalizadas o septicemias, cuya denominación es ya de por sí bastante elocuente, las más difíciles de soportar.

No obstante, si todo acaba bien y el enfermo cura, subsisten en su organismo durante un tiempo variable, a veces a lo largo de toda la vida, anticuerpos correspondientes a la infección que ha padecido.

Y es ahí donde nuevamente intervienen los linfocitos, algunos de cuyos grupos conservan, sin por ello dejar de multiplicarse y de « rejuvenecerse », la facultad de elaborar inmunoglobulinas contra su viejo enemigo vencido: el antígeno.

En « tiempo de paz » la cantidad de estas células disminuye, pero las que subsisten se mantienen siempre en estado de alerta. Basta con que la antigua infección reaparezca para que los anticuerpos refuercen sus filas y formen un ejército invencible frente al que la enfermedad retrocede. Los microbiólogos dicen que en este caso el individuo ha adquirido una « inmunidad ».

Pero, si nuestro organismo está provisto de defensas tan perfectas, ¿cómo se explican las pérdidas de millones de vidas humanas a que antes hicimos referencia?

Estas defensas, admirablemente organizadas, son sin duda perfectas, pero...sólo cuando el organismo está inmunizado, cuando la aparición de los microbios desencadena todos los mecanismos protectores y la inmediata fabricación de anticuerpos. En cambio, cuando la infección microbiana se manifiesta por vez primera, se plantea una prueba de velocidad en la que el enemigo no carece de ventajas: son justamente estas ventajas las que antaño le hacían tan temible.

Esto significa que si no existe inmunidad hay que crearla artificialmente. Así nació uno de los principales métodos de lucha contra las enfermedades infecciosas: la vacunación, que hoy reviste una importancia capital.

El método es muy conocido. Se inyecta en forma de vacuna a un sujeto que goza de buena salud microbios patógenos atenuados o muertos. Tras una ligera indisposición que dura muy poco tiempo —es como si la enfermedad se padeciera en forma benigna, pero hay veces en que la vacuna no produce ninguna reacción— la inmunidad surge en el organismo. En algunos casos hace falta repetir la inyección para recordar al organismo los « códigos » y las « cifras » de los anticuerpos indispensables.

Los tratamientos medicamentosos son la segunda gran arma con que contamos para luchar contra las enfermedades infecciosas; gracias a ellos se ha podido decidir favorablemente el resultado de innumerables combates. El gran científico alemán Paul Ehrlich fue quien trazó con precisión el camino hacia el que había que orientar las investigaciones. A su juicio, un medi-

observó la lucha entre los microbios y esas células protectoras que llamó « fagocitos » —del griego *fagein*, comer. Los fagocitos pueden desplazarse libremente por la sangre o la linfa, pero cabe también que queden « fijados » a lo largo de los vasos. Según los casos, se precipitan al encuentro del microbio agresor o bien esperan pacientemente a que pase a su lado para apoderarse de él y devorarlo. Estos « celosos limpiadores » son omnipresentes y constituyen un medio de defensa esencial para el organismo. Pero hay más: desde que la infección irrumpe en el organismo, éste

elabora otro medio de defensa, formado por los anticuerpos, que son unas sustancias proteínicas muy particulares. Los anticuerpos surgen como reacción a la intrusión de proteínas y otras sustancias extrañas —llamadas « antígenos »— una de cuyas variedades son los microbios. Con sutileza sorprendente, el organismo distingue sus propias proteínas de aquellas que no le pertenecen, a las que elimina implacablemente. Durante los últimos años se han descubierto muchas cosas acerca de los « mecanismos » profundos de la lucha contra los microbios. Otras

células especiales, llamadas linfocitos, son las encargadas de descubrir la presencia de proteínas extrañas. Fabricadas por la médula ósea con la ayuda del bazo, de los ganglios linfáticos y de algunos otros órganos y tejidos, los linfocitos circulan constantemente por la sangre. En determinadas condiciones, una parte de ellos se transforman en plasmocitos, células cuya característica esencial es la producción intensiva —del orden de millares por segundo— de esas moléculas proteínicas —llamadas « inmunoglobulinas »— de que se componen los anticuerpos.

A los anticuerpos incumbe la responsabilidad principal de la lucha contra la agresión microbiana. Una vez que han penetrado en el organismo humano, los gérmenes tienden inmediatamente a multiplicarse y propagarse. Al mismo tiempo, segregan venenos extremadamente violentos, las toxinas. Hay una multitud de toxinas que paralizan el sistema nervioso, descomponen el intestino, destruyen los glóbulos rojos y provocan espasmos. Entre ellas, hay una llamada « leucocidina » capaz de matar a los fagocitos.

Los anticuerpos, de los que sólo existe un pequeño número de variedades, libran un singular combate con los microbios, atentos siempre a las maniobras del adversario. Algunos aglutinan e inmovilizan a los gérmenes, otros los disuelven y, finalmente, otros neutralizan los venenos microbianos. El resultado de la confrontación depende, por supuesto, de numerosos factores y, en primer lugar, del estado del organismo, de su aptitud para resistir la infección y, también, de la amplitud de ésta, es decir de la cantidad de microorganismos que ataquen

► camento antiinfeccioso debía poseer las propiedades de una «bala mágica»: destruir infaliblemente la bacteria sin perjudicar al organismo.

La lista de medicamentos capaces de ganarles la partida a los microorganismos es larga. Nos referiremos sólo a dos tipos de remedios modernos particularmente eficaces.

El primer grupo está constituido por las sulfamidias, que fueron descubiertas en los años 30, pero cuyo empleo se ha desarrollado sobre todo desde hace veinte años.

Su acción puede ilustrarse con la siguiente fórmula: una piedra en vez de pan. En efecto, se trata de sustancias con una estructura similar a la de algunos elementos nutritivos indispensables para las bacterias, pero cuya composición es de todos modos algo diferente. Al tragarse estas «raciones trucadas», las bacterias parecen sin tener tiempo para saciarse. Imaginemos unos apetitosos panecillos en cuya masa se haya mezclado abundante cantidad de arena y serrín.

Hoy las preparaciones sulfamidicas se han perfeccionado: su toxicidad ha disminuído, al igual que sus efectos secundarios sobre el organismo, y se están elaborando nuevas variedades de acción prolongada que sólo requieren la ingestión de un comprimido diario, a veces menos, en lugar de los tres o cuatro de antes.

Con el descubrimiento del segundo grupo de medicamentos, los antibióticos, la medicina entró en una nueva era. Sus inventores explotaron una idea lanzada por Pasteur y Mechnikov combatir lo viviente con lo viviente. El principio activo que sirve para impedir el crecimiento de los microbios es un producto segregado por otros microbios.

Muchos lectores recordarán el entusiasmo provocado por la aparición del primer antibiótico: la penicilina. Gracias a ella, los médicos pudieron mantener a raya la meningitis, la septicemia, la pulmonía y otras muchas enfermedades. Pero algunas bacterias — su número ha aumentado considerablemente con el tiempo — se volvieron indiferentes a la presencia de este antibiótico. Diversas modificaciones de estructura permitieron elaborar otros antibióticos, pero al poco tiempo aparecieron a su vez bacterias resistentes a las nuevas sustancias.

Según la juiciosa comparación del científico soviético Boris E. Votchal, la situación así creada recuerda la rivalidad entre Barbicane y Nicholl en la novela de Julio Verne *De la Tierra a la Luna*. Barbicane inventaba obuses cada vez más mortíferos y Nicholl blindajes cada vez más gruesos e impenetrables.

De esta manera los microorganismos han aprendido a tener a raya a los preparados medicamentosos utilizados contra ellos. Casi simultáneamente, se ha comprobado en la práctica la necesidad de llevar a cabo determinadas correcciones en la vacunación, ya



que este método, pese a estar sancionado por el tiempo, acarrea diversos tipos de complicaciones.

Durante mucho tiempo los científicos no han podido explicar el fenómeno de la resistencia de los microorganismos a los antibióticos, aunque los mecanismos fuesen conocidos a grandes rasgos: se trata de una pérdida temporal o definitiva, por parte de los gérmenes, de su sensibilidad ante los agentes antimicrobianos.

En la actualidad se presta cada vez mayor atención a los «plasmidos», elementos genéticos particulares que se transmiten de una bacteria a otra. Se supone que los plasmidos favorecen la elaboración por algunos microorganismos de enzimas que inhiben la acción del antibiótico. De ahí que el objetivo número uno de los investigadores sea elaborar sustancias capaces de «oponerse» a la resistencia de los microorganismos.

Una amplia experiencia en vacunaciones preventivas en masa confirma de manera rotunda su papel capital en la profilaxis de numerosas enfermedades infantiles y otras afecciones, como las enfermedades tifoideas y parasitarias. Pero no es menos evidente que la vacunación puede ir acompañada de reacciones secundarias y de complicaciones que no podemos admitir en el nivel que han alcanzado los conocimientos médicos.

Nuestro principal adversario es, a este respecto, el tipo de alergia que puede definirse como hipersensibilidad del organismo a las sustancias medicamentosas y, sobre todo, a los sueros y vacunas.

Los progresos científicos actuales nos permiten pensar que contaremos con vacunas mucho mejores, que no provocarán ni reacciones secundarias ni accidentes y que serán vacunas químicas preparadas a partir de antígenos «protectores». Un miembro de la Academia de Medicina de la

URSS, Pavel Zdrovovski, ha propuesto ya la aplicación de vacunas de este tipo contra el tifus y las fiebres tifoideas. Para elaborar vacunas análogas contra la peste, la tuberculosis, etc., investigadores de otros países utilizan en particular las membranas de las células microbianas.

Vacunas «vivientes», sobre todo contra la viruela, el sarampión y la rabia, están actualmente en una fase muy avanzada de estudio. Estas vacunas contienen sustancias accesorias desprovistas de acción inmunizadora. Por otro lado, se ha demostrado en fecha reciente que los microorganismos utilizados pueden subsistir en el organismo que los hospeda y ser causa de una infección crónica.

De ahí que las sucesivas vacunaciones — que son incontestablemente un medio eficaz para renovar, al cabo de algún tiempo, una inmunidad en vías de desaparición — pueden no estar exentas de efectos sobre el organismo, por lo que conviene practicarlas sólo en aquellos casos en que están verdaderamente indicadas.

De esta manera, nuevos problemas vienen a sustituir a otros ya resueltos. La inmunología — ciencia que estudia los medios de defensa del ser vivo — nació de la investigación de las reacciones de rechazo que los microbios suscitan en el organismo. El célebre bacteriólogo francés Charles Nicolle escribía hacia 1936 que los hombres del futuro «sabrán defenderse y preservar cada vez mejor a sus familias y animales domésticos contra la loca e indisciplinada horda de las enfermedades infecciosas».

Hoy los inmunólogos han ensanchado el campo de sus investigaciones, para incluir en ellas el estudio de problemas de un interés capital para la humanidad, como el trasplante de órganos y tejidos y el tratamiento de los tumores malignos.

Oganes V. Baroyan

Los laboriosos microbios

Desde la medicina hasta la perfumería y el gas, una gran variedad de útiles tareas

por Kei Arima

LOS microorganismos saben utilizar en las formas más diversas todos los elementos naturales. Esta capacidad de asimilación de que se hallan dotados ha hecho que resultara posible la vida en la tierra. Sin embargo, el hombre empieza apenas a conocer el modo de aprovechar el inmenso potencial que contienen los genes de los microorganismos.

Desde que terminé mis estudios en la Universidad de Tokio, vengo trabajando en investigaciones microbiológicas. En los 30 años últimos he presenciado espectaculares progresos en la utilización de los microorganismos.

1940-1950 La mayoría de los principales antibióticos fueron descubiertos en este decenio y constituyen su logro más característico. (Véase el artículo de la página 17.) La principal utilización de los antibióticos es el tratamiento de las infecciones bacterianas. Pero la aparición constante de nuevos antibióticos ha ensanchado la gama, que ahora abarca también enfermedades provocadas por hongos, rickettsias y grandes virus. Añadiendo antibióticos a los piensos se mejora el crecimiento de los animales, pero el uso de los antibióticos corrientes con ese fin acelera la aparición de bacterias resistentes a ellos. Para obviar tal fallo, se han elaborado ciertos antibióticos reservados exclusivamente a los animales.

KEI ARIMA es profesor de microbiología aplicada de la Universidad de Tokio. Sus investigaciones en la esfera de la microbiología durante los treinta años últimos le han permitido efectuar algunos descubrimientos importantes, entre ellos el de un cuajo a base de enzimas que actualmente se emplea en gran escala en la industria quesera. Es vicepresidente de la comisión de microbiología de la Organización Internacional de Investigaciones Celulares (ICRO), que desde su fundación colabora con la Unesco, y consejero del proyecto de cooperación regional de ésta última para la enseñanza de las ciencias fundamentales en Asia sudoriental.

Más recientemente se ha recurrido a un antibiótico, la bleomicina, para tratar ciertos cánceres, y cabe esperar que en el futuro se descubran nuevos antibióticos capaces de combatir esta enfermedad. Por su parte, la rifampicina ha modificado radicalmente el tratamiento de la tuberculosis y, probablemente, el del tracoma.

1950-1960 El adelanto más notable conseguido en estos años fue el empleo de los microorganismos para llevar a cabo transformaciones químicas que resulta difícil o imposible realizar en tubos de ensayo.

En 1950, por ejemplo, Hench descubrió que la cortisona hormonal surtía efectos muy notables en el tratamiento de la artritis reumática, lo que produjo una gran demanda de cortisona. Para la producción de ésta a partir de la progesterona, una sola transformación requería diez reacciones químicas distintas, cada una de ellas con un rendimiento muy bajo. En 1956, Peterson llevó a cabo con pleno éxito esta transformación en una sola operación, con un rendimiento de casi ciento por ciento, gracias al moho *Rhizopus nigricans*. A partir de entonces se utilizan los microorganismos para producir otras muchas hormonas esteroides.

1960-1970 Durante este decenio, las investigaciones desembocaron en la producción en gran escala de aminoácidos y nucleótidos mediante la fermentación microbiana. Los aminoácidos son elementos principales de las proteínas y los nucleótidos del ARN (ácido ribonucleico), que desempeña un papel decisivo en la transmisión de los mensajes genéticos en las células vivas. (Véase el artículo de la página 5.)

Producir cereales más nutritivos. Nueve de los veinte aminoácidos son indispensables para el hombre. Las proteínas de los cereales son inferiores a las de los animales porque carecen de algunos de los aminoácidos esenciales. Se puede, pues, mejorar el valor nutritivo de un régimen alimenticio basado en los cereales, complementándolo con los aminoácidos que faltan.

Aunque los aminoácidos esenciales se pueden sintetizar químicamente, tal operación es una fuente de despilfarro ya que produce dos formas distintas de cada uno de ellos, difíciles de separar. Por fortuna, los microorganismos sólo producen la forma adecuada.

El problema que plantea el empleo de microorganismos para producir comercialmente aminoácidos estriba en que existen refinados mecanismos reguladores que les impiden producir más de lo que necesitan. En ciertos casos, cuando la concentración de un aminoácido alcanza un determinado nivel, tales mecanismos coartan toda síntesis ulterior, fenómeno que se conoce con el nombre de inhibición retroactiva.

Aunque admiremos el refinamiento de esos controles naturales, hemos de buscar el modo de eludirlos, esquivarlos o suprimirlos, si queremos que los microorganismos produzcan grandes cantidades de aminoácidos. Hemos de encontrar la manera, valga la comparación, de introducir un diminuto destornillador en una máquina de precisión en tan sólo una milésima de milímetro para modificar la dirección del metabolismo.

A este problema le han dedicado especial atención los microbiólogos japoneses, que han discurrido varios métodos muy hábiles para lograr precisamente ese objetivo.

En 1965, S. Kinoshita, S. Uda, K. Tanaka y K. Nakayama consiguieron aislar una bacteria que, cultivada en las debidas condiciones, podía producir grandes cantidades de una conocida sustancia aromatizante, el ácido glutámico, a partir de la glucosa.

La irradiación de esa misma bacteria produjo un mutante, gracias al cual puede obtenerse en gran cantidad una sustancia llamada lisina. Ahora bien, la lisina tiene su importancia. En efecto, es uno de los tres aminoácidos esenciales de los que carecen el trigo y el maíz. Añadiéndoles un 0,25 por ciento de lisina, se mejora su valor nutritivo convirtiéndolos en un equivalente de la leche. La adición de lisina es de gran utilidad en la cría de animales.

Aromas para alimentos insípidos. Desde los tiempos más remotos se utilizan en el Japón las algas y el bonito en polvo para sazonar los alimentos. Desde principios de siglo se sabe que el elemento que confiere esa virtud aromática a las algas es el ácido glutámico o, en el caso del bonito, la sal histina del ácido inosínico. Aunque la producción del ácido glutámico se convirtió en una gran industria, no se hizo gran cosa con respecto al ácido inosínico hasta que, en 1955, K. Saka-guchi y A. Kuninaka descubrieron que dos nucleótidos —el ácido inosínico ▶

► 5 y el ácido guanilico 5— son eficaces aromatizantes que, mezclados con el glutamato, tienen un efecto mayor que cuando se utilizan solos.

De ahí que la producción de estos nucleóticos presentara gran interés. También en este caso se logró el objetivo perseguido gracias a un microorganismo, a un moho. Este moho utiliza una de sus enzimas para descomponer el ARN de una levadura (producida con los residuos de la industria de la pasta de madera) en agentes aromatizantes. Esta misma enzima existe en el veneno de las serpientes pero es mucho más práctico emplear el moho.

Mediante la producción en gran escala de estas sustancias, unos alimentos anodinos, que son no obstante necesarios para atender las necesidades alimentarias del mundo, pueden resultar más sabrosos.

Enzimas y quesos. Las proteínas conocidas con el nombre de enzimas aceleran en las células las reacciones que desembocan en la síntesis de los aminoácidos y los nucleótidos. Se conocen 1.500 clases distintas de enzimas; cada una de ellas desempeña su propio papel específico en el proceso de síntesis. Ciertas enzimas se producen comercialmente, por ejemplo, para emplearlas como ácidos digestivos, para la conversión de almidón en glucosa o para aclarar el zumo de manzana. Últimamente se han descubierto nuevas aplicaciones de ciertas enzimas obtenidas a partir de microorganismos.

Anualmente se dedica el diez por ciento de la leche producida en todo el mundo a la fabricación de unos cinco millones de toneladas de quesos. La operación más importante para la transformación de la leche en queso es la coagulación de la proteína, que tradicionalmente se efectúa mediante la adición del cuajo, una enzima procedente del estómago de los terneros lactantes.

En otros tiempos se sacrificaban unos 40 millones de terneros al año para la obtención de cuajo. Pero, a consecuencia de la escasez de carne de vaca en el pasado decenio, los ganaderos prefieren ahora criar terneros hasta de uno o dos años. Como la producción de queso se ha duplicado en los quince años últimos, la industria quesera se enfrenta con una escasez de cuajo.

En 1960, S. Iwasaki y yo conseguimos aislar un moho que podía producir en grandes cantidades una potente enzima análoga al cuajo. Basta con un gramo de la preparación purificada para producir 700 kilos de queso. De este modo un microbio ha contribuido no sólo a transformar la industria quesera sino además a acrecer las reservas mundiales de carne de vaca.

Alimentos y piensos. Los microorganismos pueden sintetizar proteínas a partir de diversas sustancias que son productos residuales de la industria. También pueden producir proteínas

varios miles de veces más rápidamente que los animales y las plantas.

En 1963 A. Champagant utilizó una levadura para producir industrialmente proteínas monocelulares a partir de la parafina, que es un producto residual del refinado del petróleo. En estas proteínas están bien equilibrados los aminoácidos esenciales. Son ricas en vitaminas y su valor nutritivo es similar al de los frijoles o la harina de pescado; han sido ensayadas con éxito, para comprobar su seguridad de utilización, en cerdos y gallinas.

Si se convirtiera en proteína toda la parafina disponible, se podrían obtener unos 700 millones de toneladas.

Por otra parte, la producción de proteínas monocelulares exigiría una superficie de tierra mucho menor que otras múltiples soluciones que se ofrecen al problema alimentario mundial. Cada año, un crecimiento demográfico equivalente a 70 millones de personas requiere el consumo de 2 millones más de toneladas de proteínas. Si estas proteínas procedieran de la soja, se necesitarían 40 millones de hectáreas simplemente para producir esos 2 millones de toneladas. Mediante el empleo en gran escala de proteínas monocelulares, bastaría para obtenerlas con dos mil tanques de 200 metros cúbicos, que abarcarían menos de una hectárea de terreno.

Población. Uno de los medios más importantes para la planificación de la familia es la píldora anticonceptiva. La mayoría de ellas están formadas por dos hormonas esteroideas derivadas de una sustancia química llamada diosgenina, que se extrae de un ñame que crece en estado silvestre en ciertas zonas montañosas de México y de América Central. Se producen al año unas 700 toneladas de diosgenina, pero su costo está aumentando rápidamente debido a una excesiva explotación de esta planta silvestre y al hecho de que su cultivo es largo y difícil.

Existen, sin embargo, otras sustancias naturales que tienen una estructura esteroide y que podrían convertirse en hormonas de ese tipo. El colesterol es una de tales sustancias. Se extrae el colesterol de la grasa de lana de oveja, a razón de unas 70.000 toneladas anuales. Para transformar el colesterol en esas hormonas, hay que separar una cadena lateral integrada por 7 átomos de carbono, dejando intacto el núcleo esteroidal. Esto es muy difícil de conseguir empleando los métodos químicos clásicos. Por ello, hace unos diez años, M. Nagasawa y yo emprendimos la búsqueda de microorganismos capaces de realizar tan delicada transformación.

Centramos preferentemente nuestra atención en una bacteria que pudiera dividir los enlaces de carbono del colesterol, incluidos los del núcleo esteroidal. La operación siguiente consistió en cultivar esas bacterias en presencia de elementos químicos que inhibieran selectivamente a las enzimas responsables de la separación.

Después de ensayar unos 200 de esos elementos químicos, descubrimos que uno de ellos, el dipiridilo, impedía la destrucción del núcleo a la vez que separaba la cadena. Este fenómeno permitió una muy eficaz producción de androstano a partir del colesterol. Como el androstano se puede convertir fácilmente en otras hormonas esteroideas, esperamos que la industrialización de este proceso incrementará las existencias de los siguientes productos:

- anticonceptivos orales;

- hormonas adrenales, utilizadas en el tratamiento de la artritis reumática y otros tipos de inflamación;

- hormonas que aceleran el desarrollo de los tejidos del cuerpo en el hombre y en los animales. En el hombre se utilizan para estimular la recuperación de los tejidos que han sufrido daños, por ejemplo después de una operación quirúrgica, y en los animales para aumentar la producción de carne;

- hormonas sexuales masculinas y femeninas, utilizadas en la terapéutica de sustitución, especialmente en la ancianidad.

Microbiología y medio ambiente. Los microorganismos pueden desempeñar asimismo un papel capital en la limpieza del medio ambiente. Ejercen una función importante en los principales métodos de tratamiento de las «aguas negras»: el de los fangos biológicamente activos, el de la filtración y el de la fermentación (véase el artículo de la página 29).

En el primero de esos métodos se tratan los residuos líquidos a una temperatura que favorece la propagación de bacterias y protozoos. Tras ello se colocan esos microorganismos en un limo, produciéndose unas masas que absorben las sustancias orgánicas e inorgánicas, las cuales, en presencia del oxígeno, se descomponen en anhídrido carbónico y agua. El mayor defecto de este método es que el gran número de células microbianas producidas engendra una contaminación secundaria.

El segundo método es el de la filtración o escurrimiento. Se distribuyen los desechos sobre una superficie de piedras o bloques, que quedan rápidamente cubiertos con una fina capa de limo, en la que hay microorganismos que aseguran una oxidación muy eficiente. En las capas más profundas los residuos se descomponen anaeróticamente. Este método es similar al fenómeno que ocurre de modo natural en los ríos. Es sencillo, barato y no produce una cantidad excesiva de lodos, pero es relativamente lento, salvo que se utilice energía eléctrica para el tratamiento.

Estos dos tipos de tratamiento de los residuos requieren la presencia de un volumen adecuado de aire. En el tercer método —la fermentación metánica—, se emplea un tanque cerrado en el que no entra el oxígeno. En este método un solo tipo de bacteria con-



Dibujos de Jean-Marie Clément © El Correo de la Unes

vierte los residuos orgánicos en sustancias como los ácidos orgánicos. Tras ello, las bacterias metánicas transforman los ácidos orgánicos en metano y anhídrido carbónico.

El inconveniente de este método es su lentitud: se requieren normalmente diez días para la descomposición total de los residuos. La ventaja estriba en que se puede recuperar más del 80 por ciento de la energía que contienen esos residuos, en forma de gas metano, utilizable como combustible limpio.

Los microorganismos, fuente de energía. La descomposición por fermentación metánica de la totalidad de los desechos de los seres humanos y del ganado en los Estados Unidos permitiría satisfacer el 3 por ciento de sus actuales necesidades de energía.

Se ha calculado, además, que si se cultivaran algas para la fermentación metánica en un cinco por ciento de la superficie de Estados Unidos, esas algas proporcionarían materia prima suficiente para que el metano satisficiera todas las necesidades de energía del país en el año 2020.

Estas últimas aplicaciones de los microorganismos se deben a su capacidad de biodegradación. A diferencia de lo que ha ocurrido con las facultades sintetizadoras de los microorganismos, los científicos han contribuido muy poco a mejorar lo que éstos son capaces de hacer de un modo natural en esta esfera.

Por ejemplo, cuando se descubrió el moho *Penicillium notatum*, producía 20 unidades de penicilina por mililitro. Su subsiguiente «domesticación» multiplicó por mil los rendimientos. En cambio, no podemos citar éxitos similares en el empleo de microorganismos con fines de biodegradación.

Los microbiólogos deberían dedicarse ahora a solventar problemas como los siguientes:

- elaboración de métodos eficaces para convertir los nitratos en nitrógeno atmosférico, ya que los nitratos de las instalaciones de depuración y los de origen agrícola están acumulándose con exceso en nuestros ríos y lagos, provocando un déficit de oxígeno y, consiguientemente, la putrefacción;

- elaboración de un método de lodos activos gracias al cual la energía obtenida mediante la descomposición bacteriana no entraña la producción de un exceso de lodos;

- selección de microorganismos especialmente adaptados a la descomposición de polímeros y sustancias tóxicas.

Conclusión. Aunque hemos logrado ciertos progresos en la domesticación de los microorganismos, estamos sólo en los comienzos. Desde su aparición en la tierra hace 40.000 millones de años, los microorganismos han pasado por un número infinito de generaciones y se han adaptado a todos los medios imaginables de nuestro planeta. A consecuencia de ello, llevan en sí un gran acervo de información sobre el modo de salvar lo más eficazmente posible los diversos obstáculos físicos y químicos. Esta información está ahora a nuestro alcance. Gracias a ella será posible solventar muchos de los problemas más acuciantes a que ha de hacer frente la humanidad.

Kei Arima

Un ejemplo de coexistencia pacífica

por John Roger Porter

SE olvida a menudo que todas las formas de vida, desde los más pequeños microorganismos hasta las plantas y los animales mayores, practican los más diversos tipos de asociaciones, que comprenden desde la ayuda mutua a la competición.

Pero, justamente, de ahí proviene ese delicado equilibrio que existe en la naturaleza entre las especies vivientes, así como entre ellas y su medio ambiente. También los ciclos naturales dependen de ese fenómeno (véase el artículo de la página 26).

Los microorganismos conocidos en la naturaleza suman varios millares de especies. Estas especies pueden actuar unas sobre otras, e incluso sobre las formas de vida superiores. Los efectos de tales interacciones son neutros, benéficos o nocivos; ocasionan diversos cambios en unas u otras, y también en el medio ambiente.

Un ejemplo muy conocido de relación naturalmente benéfica entre dos microorganismos nos lo ofrece el líquen. Un alga y un hongo se asocian y unidos forman una estructura que se asemeja a una planta; esta estructura crece lentamente hasta hacerse visible a simple vista. El alga y el hongo pueden cultivarse por separado en laboratorio; pero en la naturaleza se encuentran siempre unidos en estado de líquen. Hace tiempo se creía que el líquen era un solo y único organismo.

Los líquenes están muy extendidos. Pueden encontrarse en los peñascos,

en los árboles y en otros objetos sólidos. En condiciones extremas, como las del desierto o las regiones polares, pueden constituir la forma de vida predominante; en efecto, su resistencia al calor, al frío y a la sequedad es extraordinaria.

Debido a la lentitud de su crecimiento, los geólogos los utilizan para calcular la edad de los objetos glaciares. Pero los líquenes son también extremadamente sensibles a la contaminación atmosférica y desaparecen rápidamente de las zonas industriales, cuando las condiciones dejan de serles favorables. De esta manera pueden servir de señal de alarma a los ecólogos para detectar los daños causados al medio ambiente.

Sucede a menudo que los microorganismos mantienen relaciones benéficas con formas de vida superiores. En efecto, las plantas y animales les proporcionan un entorno favorable. Pero las diversas partes de una planta, de un animal o incluso de un órgano difieren física y químicamente. Puede haber ambientes que favorezcan a determinados tipos de microbios pero no a otros. Las plantas y los animales poseen también mecanismos de defensa variados, susceptibles de impedir la invasión de determinados microbios o de estorbar su crecimiento.

Los tallos y las hojas de plantas que brotan en un clima seco poseen con frecuencia un revestimiento brillante que les ayuda a retener la humedad. Es posible que este revestimiento sea también la causa del pequeño número de microbios que se encuentran en la superficie y a los que impide penetrar en el interior.

Bajo los trópicos, muchas plantas acuáticas y marinas tienen grandes cantidades de microbios en sus tallos y hojas; ello se debe al medio ambiente húmedo en que se desarrollan. Frecuentemente contraen enfermedades y han de soportar otras muchas dificultades a causa de los microorganismos.

Las raíces de las plantas se encuentran en un medio en el que la humedad

es de ordinario menos variable y el alimento más abundante que en el aire. Se encuentran en asociación perpetua con microorganismos. Algunos sólo tienen un ligero efecto sobre el crecimiento de la planta y otros le son extremadamente benéficos. Pero aún hay otros que pueden ser enormemente nocivos y provocar, por ejemplo, enfermedades de la raíz en los cereales, los árboles frutales y las plantas de jardín.

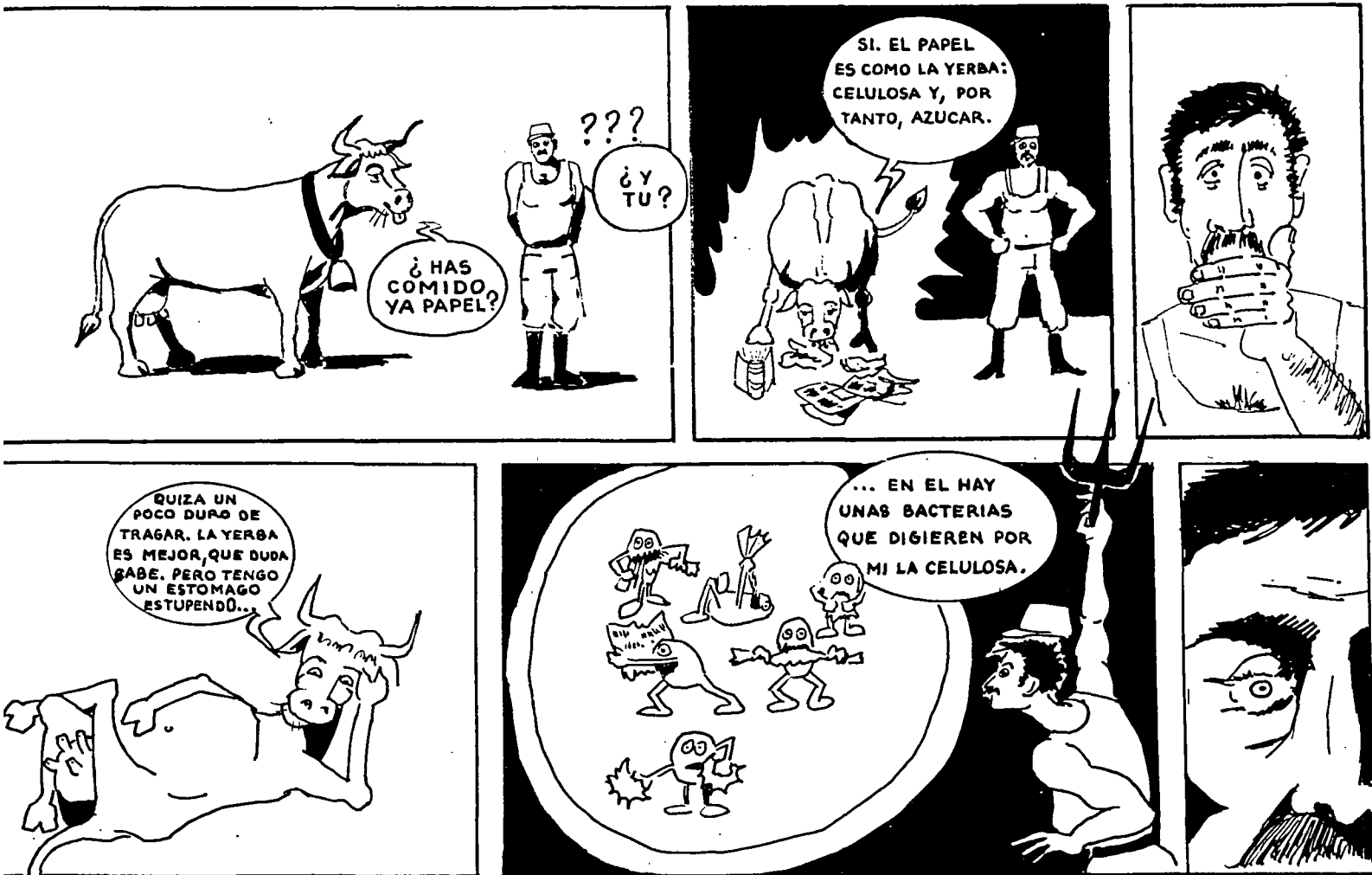
Entre las relaciones que los microorganismos establecen con las raíces de las plantas, debe citarse una particularmente interesante: la que existe entre las leguminosas y las bacterias del tipo *Rhizobium* (literalmente: que vive en las raíces).

Entre las leguminosas existen plantas económicamente importantes: el esparto, el trébol, los altramuces, los frijoles, los guisantes, la soja. Las bacterias, dispuestas en cadena, son capaces de invadir las raíces de estas plantas, provocando la formación de nódulos. En los nódulos las bacterias extraen sus alimentos de la planta, los azúcares por ejemplo, y a cambio convierten el nitrógeno atmosférico (N₂, inasimilable por las plantas) en amoníaco.

El amoníaco es a su vez transformado en ácidos aminados, materiales de construcción de todas las proteínas. Es muy frecuente que se cite el proceso de fijación del nitrógeno como uno de los mejores ejemplos conocidos de una simbiosis con beneficio mutuo. Es también una de las interacciones biológicas más importantes que se producen en la naturaleza: se estima que alrededor de diez mil millones de toneladas de nitrógeno son fijadas cada año en el mundo por los organismos vivientes, la mayor parte gracias a este proceso.

Ni la leguminosa ni el *Rhizobium* son capaces de fijar el nitrógeno por sí solos. En cambio, la relación simbiótica entre ellos tiene como resultado hacer al nitrógeno atmosférico accesible a las plantas, proporcionando proteínas a los hombres y a los animales.

JOHN ROGER PORTER, microbiólogo norteamericano, es presidente de la comisión de microbiología de la Organización Internacional de Investigaciones Celulares (ICRO). Profesor de microbiología de la Universidad de Iowa (Estados Unidos), se ha destacado particularmente por su descubrimiento de las funciones de las vitaminas en la nutrición bacteriana y por haber sido durante muchos años uno de los promotores de las aplicaciones económicas de la microbiología en los países en vías de desarrollo. Ha publicado numerosos artículos sobre la materia de su especialidad y de 1951 a 1961 fue director de la revista norteamericana *Journal of Bacteriology*.



Dibujos de Jean-Marie Clément © El Correo de la Unesco

Otro tipo de simbiosis entre plantas y microorganismos es la raíz micorrizal. Se trata de una asociación entre un hongo y la parte nutritiva de la raíz; en este caso el hongo acrecienta de manera notable la capacidad de la raíz para absorber los elementos nutritivos.

Existen varias clases de asociaciones micorrizales. Actualmente sólo se han explotado un pequeño número de ellas. Tales asociaciones ofrecen amplias perspectivas para el futuro y deben posibilitar una mejor utilización de los elementos nutritivos escasos y caros destinados a las plantas, con el consiguiente ahorro de fertilizantes.

Ciertas leguminosas pueden incluso poseer dos sistemas simbióticos a la vez: uno para fijar el nitrógeno y otro para extraer los elementos nutritivos del suelo.

Bacterias, hongos, protozoos y virus ocasionan numerosas enfermedades a las plantas. Las pérdidas así sufridas anualmente en la producción de madera, de fibra y de productos forestales son tan considerables que uno de los grandes problemas de nuestra época es el de luchar contra los efectos nocivos de los microorganismos en los cultivos y los bosques.

Entre insectos y microorganismos existe una gran variedad de asociaciones. Tanto para unos como para otros, algunas son útiles, otras perjudiciales. Así, los coleópteros que taladran la madera viven de los hongos

que depositan en sus túneles. Las hormigas pasan parte de su vida cultivando hongos.

Existen también microorganismos que viven en el cuerpo mismo de los insectos; tal es el caso de los protozoos que digieren la celulosa del intestino de las termitas. Pero los insectos pueden ser atacados por enfermedades microbianas lo que no deja de ofrecer ventajas; así, ciertos insecticidas biológicos permiten neutralizar determinados insectos perjudiciales a las cosechas y a los bosques.

En general, los microbios son específicos de un determinado insecto y no tienen efecto alguno sobre las demás formas de vida, al contrario que la mayoría de los insecticidas químicos en uso. Muchas especies acuáticas, desde los protozoos a los gusanos y los moluscos y desde las esponjas a los invertebrados superiores, viven en estrecha asociación con microorganismos, en particular con algas verdes que son capaces de utilizar la energía solar. Las algas sintetizan el alimento para estas especies más o menos como lo hacen las plantas para los animales. A cambio reciben elementos nutritivos elaborados por sus asociados.

Los animales, especialmente los mamíferos, poseen siempre una flora microbiana «normal». Esta flora se encuentra particularmente en las zonas del cuerpo en contacto con el mundo exterior: la piel, las cavidades bucales,

la parte superior del tubo respiratorio y del tubo digestivo.

Si se observa una gota de saliva al microscopio, resulta asombroso el número y variedad de microorganismos que aparecen. El papel de la flora microbiana que se encuentra en la piel, en la boca o en las vías respiratorias superiores no se conoce bien. Se sabe, en cambio, que los microorganismos del intestino ayudan a la digestión y sintetizan vitaminas importantes para su anfitrión.

En el interior de los órganos, en la sangre o la linfa, habitualmente los microorganismos no tienen acceso. Si se encuentran en estos tejidos en cantidades significativas, hay normalmente enfermedad.

Pero es en los rumiantes donde se observa una de las relaciones más benéficas entre microorganismos y animales. Vacas, corderos, cabras, camellos, gamos y jirafas poseen un órgano especial llamado panza. En este órgano, la digestión de las materias vegetales complejas (la de la celulosa, por ejemplo) se efectúa gracias a la actividad de microorganismos particulares. El alimento que entra en la panza se mezcla con la población microbiana y permanece allí de ocho a nueve horas.

Mientras tanto, las moléculas de la celulosa y otros polisacáridos complejos son fragmentados en azúcar por varias especies de bacterias y de protozoos. En los azúcares producidos de



NUESTROS ANTEPASADOS LOS MICROBIOS

por Jan Wilhelm M. La Rivière

LOS microorganismos fueron los primeros habitantes de la tierra. De todo el dinero de la vida —permítasenos el símil— son a la vez las monedas más antiguas y las más pequeñas: existían ya abundantemente en los océanos hace cuatro mil millones de años, y cabe considerarlos con razón como los antepasados de todas las demás formas vivas, incluido el hombre.

La vida ha cobrado su diversidad pasada y presente por medio de la evolución: unos cambios genéticos que se producen por casualidad —las mutaciones— provocan variaciones, de entre las cuales el medio ambiente escoge las que mejor se adaptan a él. Ahora bien, los microorganismos han desempeñado un papel dominante en la formación de nuestro medio ambiente actual, en particular en la composición de la atmósfera.

Puede decirse que han influido en la vida terrestre de dos modos: en primer término, proporcionando moléculas capaces de transmitir el «recuerdo» de las experiencias ancestrales, el material genético básico; y después participando de manera indirecta en la selección ejercida por un medio ambiente que han contribuido a constituir.

Esta doble función del mundo microscópico no constituye simplemente una notable curiosidad histórica: hoy como ayer, las formas vivas superiores sólo pueden sobrevivir gracias a la actividad incesante de ese universo invisible.

Las relaciones entre los diferentes sectores de la vida se manifiestan claramente en los ciclos del carbono, el oxígeno, el nitrógeno y el azufre. Estos elementos son los que, conjuntamente con el hidrógeno, el fósforo y algunos otros, constituyen las sustancias que integran toda la vida. En

cuanto a los ciclos, son los mecanismos mediante los cuales la materia orgánica muerta se reconvierte y proporciona los materiales que servirán para construir la nueva vida. Los microorganismos son los principales agentes de ese proceso.

En el cuadro de la página 28 se expone el ciclo del carbono de un modo simplificado. La materia orgánica formada por fotosíntesis a partir del anhídrido carbónico (CO₂) del agua y de la luz (producción primaria) se debe, en la proporción de un 30 a un 50 por ciento, a las algas microscópicas del plancton oceánico y, al descomponer los organismos muertos, los microorganismos proporcionan el 90 por ciento del CO₂ que vuelve a la atmósfera. Si se interrumpiera este proceso, el CO₂ contenido en la atmósfera se reduciría a la nada en un siglo y las plantas no podrían crecer.

Los microorganismos son la base de la productividad oceánica —ya que el plancton es en el mar la primera fase de la cadena alimentaria— y al mismo tiempo los principales responsables de la descomposición natural de los residuos. En el cuadro puede verse asimismo que toda la vida animal reposa en la vegetal, pero también que una y otra son inevitablemente, después de la muerte, presa de microbios que las descomponen.

Ocurre, por lo demás, que ese ataque microbiano empieza antes de la muerte; conocemos muy bien esos microorganismos demasiado celosos: se trata de los agentes de las enfermedades infecciosas. Pero en la masa total de los microorganismos terrestres, que tiene el mismo orden de magnitud que el de las formas de vida superiores, los elementos patógenos no representan ni siquiera un 0,1 por ciento.

A veces, la descomposición no es total o bien se produce de un modo lento. Así ocurre en el fondo de los lagos, y también cuando la presión es muy grande, como en las simas de los océanos. En tales casos pueden crearse productos como el humus o los combustibles fósiles (petróleo, metano).

Por último, hay que tener presente que la fotosíntesis fabrica la cantidad exacta de oxígeno que requerirá el proceso de mineralización, lo cual

pone de manifiesto las estrechas relaciones existentes entre los dos ciclos, el del carbono y el del oxígeno.

Cabe pues decir, para empezar, que todo el oxígeno libre, presente en la atmósfera, está en perfecto equilibrio con la masa total de la materia orgánica terrestre.

Afortunadamente, la materia orgánica existente en los diversos tipos de sedimentos es tan abundante y tan finamente diseminada que, aun cuando el hombre quemara la totalidad de los combustibles fósiles, la «cuenta corriente» de nuestro oxígeno atmosférico sólo sufriría una reducción del 20,94 al 20,80 por ciento de concentración.

El cuadro sobre el ciclo del nitrógeno indica que, en realidad, se trata de dos ciclos. Uno de ellos se limita al agua y a los suelos. Los elementos nitrogenados minerales son extraídos por los microbios de los vegetales y de los animales muertos, que proporcionan con ello los materiales nitrogenados necesarios para la síntesis de nuevas plantas; los animales y nosotros mismos utilizamos con respecto al nitrógeno los servicios de los vegetales, exactamente igual que en el ciclo del carbono.

La segunda parte del ciclo obedece al hecho de que uno de los elementos nitrogenados minerales, el nitrato, puede convertirse en nitrógeno libre mediante una conversión microbiana. Esta pérdida queda afortunadamente compensada, ya que ciertos microorganismos pueden convertir el nitrógeno en proteínas, con lo que queda cerrado el segundo ciclo.

Además, el nitrógeno atmosférico es absorbido por los rayos... y por el hombre: las cantidades de amoníaco y de nitratos producidas por la industria de fertilizantes alcanzan hoy el mismo orden de magnitud que el nitrógeno fijado por las bacterias.

La actividad que despliegan los microorganismos en esos ciclos es considerable, tanto en cantidad como en calidad. En efecto, todos los años devoran implacablemente el equivalente de la producción total de la Tierra en materia viva, vegetal y animal, superando así la capacidad del animal más feroz que conocemos: el hombre.

El secreto de su poder radica en su

JAN WILHELM MAURITS LA RIVIERE, investigador holandés, es presidente de la comisión internacional de ecología microbiana de la Asociación Internacional de Sociedades de Microbiología y secretario de la comisión de microbiología de la Organización Internacional de Investigaciones Celulares. Se ha especializado en el estudio de nuevos procedimientos para el tratamiento de los desechos y las aguas residuales, particularmente en los países en vías de desarrollo.

SIGUE EN LA PAG. 34

LOS MICROBIOS
EXISTEN DESDE HACE VARIOS
MILES DE MILLONES
DE AÑOS

NO LES HA
FALTADO PUES
TIEMPO PARA
DIVERSIFICARSE

¿ COMO
ELEGIR UN MICROBIO
DETERMINADO EN
SEMEJANTE BARULLO?

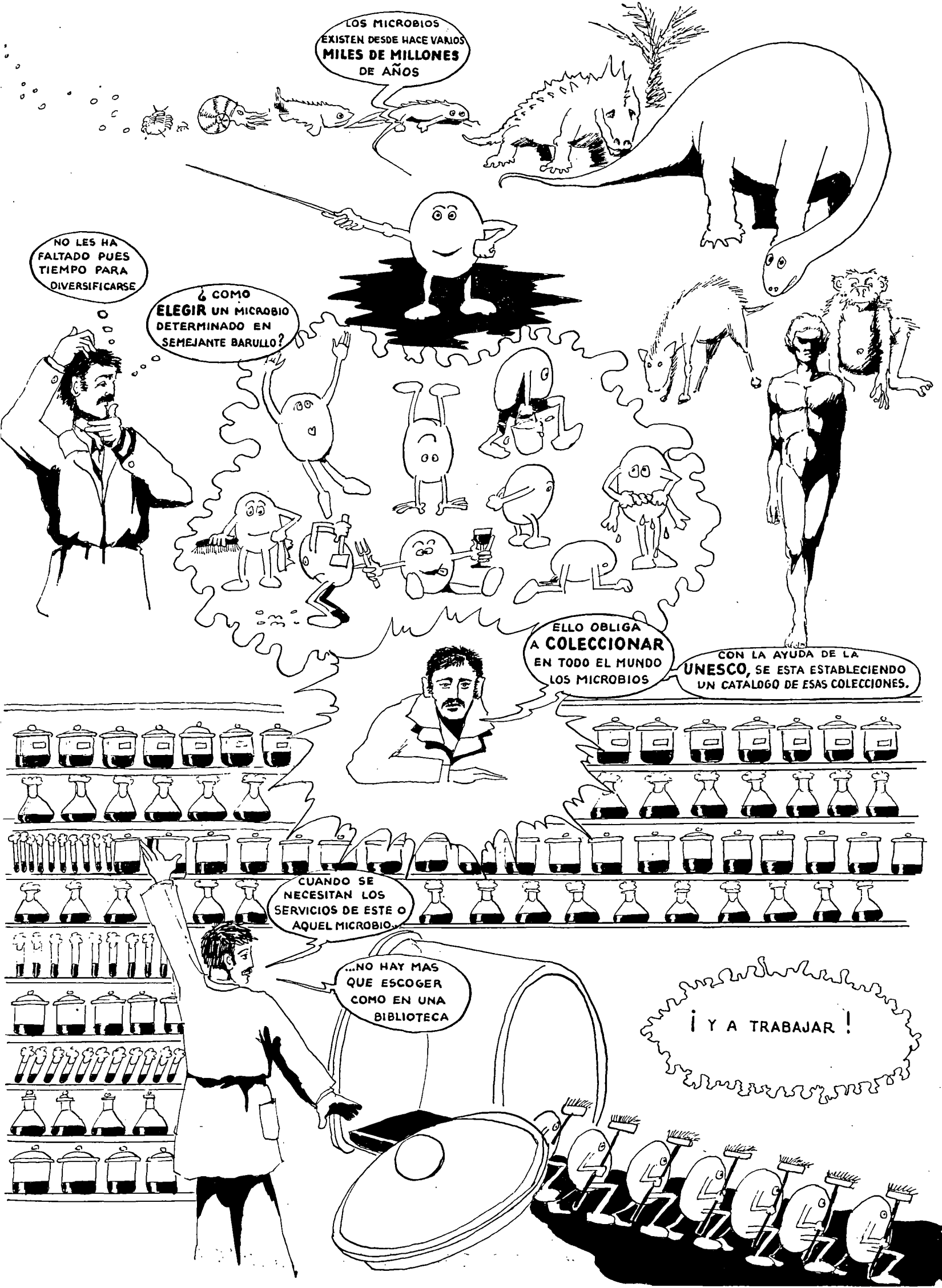
ELLO OBLIGA
A COLECCIONAR
EN TODO EL MUNDO
LOS MICROBIOS

CON LA AYUDA DE LA
UNESCO, SE ESTA ESTABLECIENDO
UN CATALOGO DE ESAS COLECCIONES.

CUANDO SE
NECESITAN LOS
SERVICIOS DE ESTE O
AQUEL MICROBIO.

...NO HAY MAS
QUE ESCOGER
COMO EN UNA
BIBLIOTECA

¡ Y A TRABAJAR !



EL CARBONO ES UNO DE LOS COMPONENTES DE TODA MATERIA VIVA

UTILIZANDO LA ENERGIA LUMINOSA DEL SOL...

... LAS PLANTAS Y DETERMINADOS MICROORGANISMOS ASIMILAN EL GAS CARBONICO

Y DESPRENDEN OXIGENO

EL CARBONO ORGANICO PUEDE ALMACENARSE (POR EJEMPLO, EL PETROLEO)

LOS ANIMALES SE COMEN LOS VEGETALES

LOS MICROBIOS DESCOMPONEN LAS MATERIAS MUERTAS

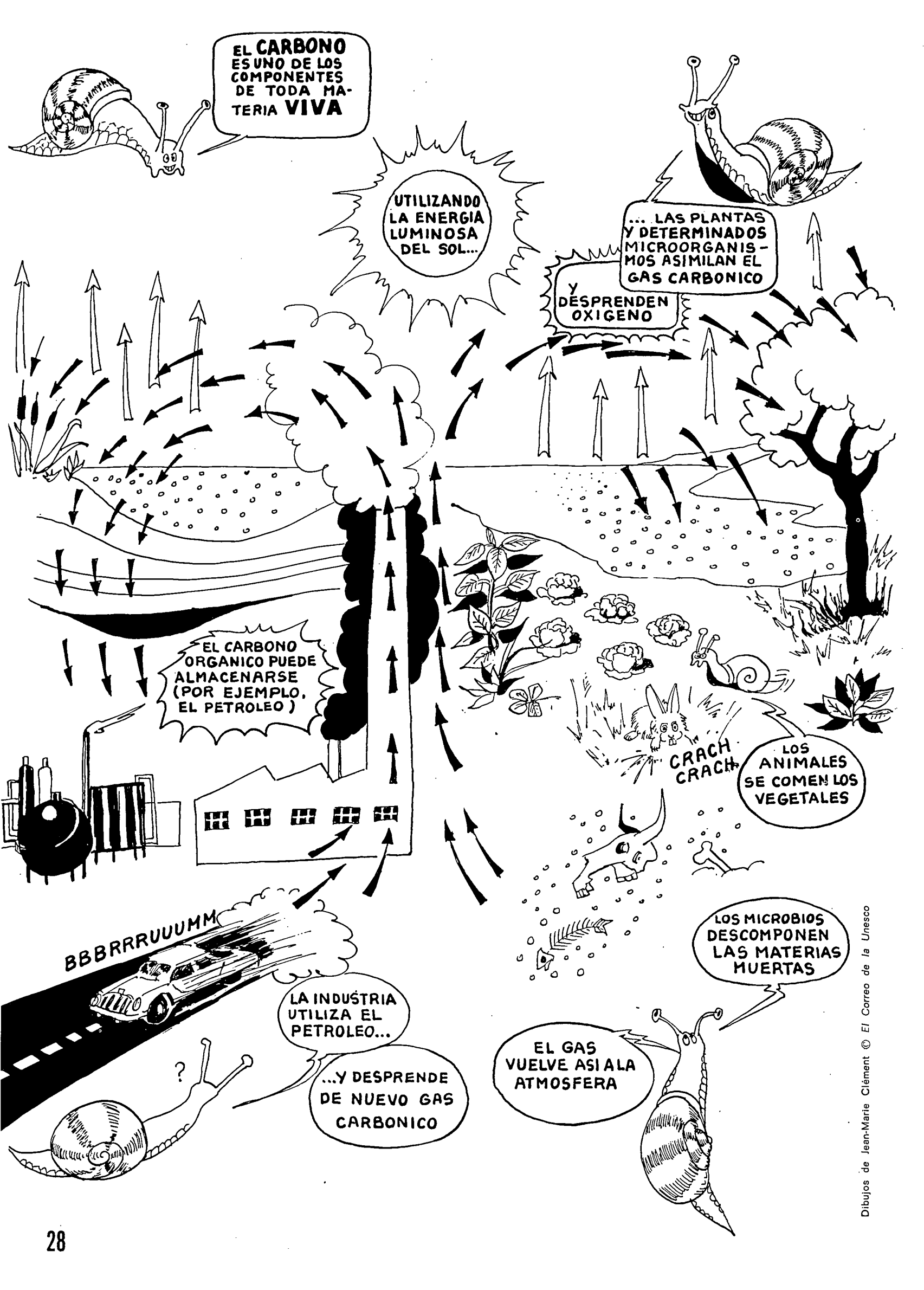
EL GAS VUELVE ASI A LA ATMOSFERA

LA INDUSTRIA UTILIZA EL PETROLEO...

...Y DESPRENDE DE NUEVO GAS CARBONICO

BBBRRRUUMM

CRACH CRACH



Invisibles basureros y metalúrgicos

por **Albert Sasson**

Si, por una parte, los microorganismos son los causantes de diversas formas de contaminación (como la proliferación de microbios en las aguas y en los residuos industriales líquidos, la erosión de los monumentos y de los edificios, la contaminación de los alimentos, etc.), por otra resultan indispensables para la eliminación de los desechos orgánicos sólidos que se hallan en suspensión en las aguas.

La descomposición de los desechos por medio de los microbios constituye el aspecto más notable de la microbiología industrial en todo el mundo, ya que la depuración y aprovechamiento de las aguas residuales es de extremada importancia no sólo desde el punto de vista sanitario sino también en lo que respecta al ahorro de los recursos hídricos.

La depuración biológica comienza por un proceso de decantación secundaria: se vierten las inmundicias en un recipiente digestor donde se las somete a una fermentación que produce metano, un gas que se emplea para aumentar el poder calorífico del gas urbano. Después de tratados, los desechos contienen gran cantidad de sustancias nutritivas, por lo cual se agregan a menudo a la basura a fin de enriquecer el fertilizante obtenido de la descomposición de ésta.

Por otro lado, en numerosos países se están realizando experiencias sobre diversas especies de algas unicelulares que crecen en las aguas residuales. En el Japón, por ejemplo, se ha construido una fábrica para la obtención de agua pura utilizando con tal fin unas algas que absorben el gas carbónico de las aguas residuales. La producción diaria de esta fábrica modelo es de

9.087 litros de agua purificada y de 27 kilogramos de algas que, por añadidura, sirven para preparar un concentrado que se agrega a la alimentación del ganado. Ensayos similares de depuración se están efectuando en un centro de investigaciones del Instituto de Microbiología de Praga.

Los desechos sólidos que se obtienen por decantación de las aguas residuales, al igual que la basura, pueden ser fermentados en fábricas especialmente concebidas para ese objeto a fin de producir fertilizantes ricos en una materia biodegradable que constituye un excelente abono de origen orgánico y, al mismo tiempo, un fertilizante para mejorar las propiedades físicas de los suelos.

Cada gramo de basura fresca contiene millones de gérmenes. Su degradación aerobia comprende diversas etapas al final de las cuales mueren los microbios patógenos y los parásitos; el fertilizante así obtenido contiene sustancias antibióticas y gérmenes que no son nocivos para los microbios del suelo.

La acción de este fertilizante orgánico refinado —que se emplea en dosis variables— sobre las propiedades físicas de los suelos es notable: en los terrenos arenosos aumenta su capacidad de retención tanto del agua como de los abonos, lo que mejora su rendimiento (de 15 a 20 por ciento en el caso de los cítricos, por ejemplo). En los terrenos duros aumenta su permeabilidad impidiendo que se vuelvan fangosos durante las lluvias. Finalmente, en los suelos en declive reduce considerablemente la erosión.

Gracias al tratamiento indicado pueden extraerse de 40 a 50 kilos de fertilizante orgánico refinado de cada 100 kilogramos de basura. Ahora bien, se calcula que en los países europeos la producción de basura oscila entre 650 y 1.000 gramos por habitante y por día. En el Brasil, aunque situado en una región subtropical, es de 600 gramos en las zonas urbanas; en Rabat, Marruecos, es de 500 gramos aproximadamente.

En las regiones subtropicales y tropicales disminuye de modo considerable en los pueblos y aldeas hasta 250 gramos por habitante y por día. O sea que si tomamos como ejemplo una ciudad de 100.000 a 150.000 habitantes, siendo su producción bruta de basura de 50 a 70 toneladas diarias, podrían obtenerse de ella entre 17 y 25 toneladas de fertilizante por día.

Los microorganismos y los metales. En la actualidad resulta evidente que, con muy raras excepciones, es difícil encontrar minerales de alto contenido en cobre, níquel, cromo, estaño y molibdeno. De ahí que no resulte ya económicamente rentable tratar los minerales de bajo contenido con los procedimientos metalúrgicos aplicados a los que poseen una concentración alta o, por lo menos, mediana. En cambio, pueden emplearse ciertos microbios para extraer dichos metales disolviéndolos en agua o en ácido sulfúrico.

Sabido es, por ejemplo, que los sulfuros son a menudo lixiviados naturalmente y que dan soluciones de alto contenido metálico. Así es como, durante el siglo XVI, se recuperaba el cobre de un agua rica en este metal, en Anglesey, Gran Bretaña, y de las aguas de avenamiento en Río Tinto, España, hace 300 años aproximadamente.

En la misma localidad española se aisló hace unos diez años una bacteria que se asemeja al *Thiobacillus ferroxidans*. Esta especie fue descubierta también en las minas de carbón de Pensilvania (Estados Unidos): la fuerte acidez de los líquidos de lixiviación de la pirita contenida en la hulla destruía la vegetación circundante.

Este fenómeno dio lugar a una serie de estudios sobre la lixiviación que permitieron aislar la bacteria. Posteriormente un microbio idéntico fue aislado de las aguas cupríferas de Bingham Canyon, en Estados Unidos. Los trabajos de laboratorio demostraron entonces que los minerales azufrados que contienen por lo menos ocho metales podían ser atacados por ese germen.

ALBERT SASSON, microbiólogo marroquí, es consultor del Departamento de Ciencias del Medio de la Unesco. Ex profesor de la facultad de ciencias de Rabat (Marruecos), es autor de varias obras entre las que cabe mencionar *El desarrollo y el medio ambiente* y *El papel de los microorganismos en la biosfera y el porvenir de la microbiología aplicada*, publicadas en francés.

► Para tener una idea de la importancia que reviste el proceso de lixiviación microbiológica, conviene señalar que en 1966 se obtuvieron en las minas de Estados Unidos 370 millones de toneladas de gangas de bajo contenido de cobre. En 1965, el 10 por ciento de la producción de cobre de ese país se extrajo de esos cascotes tratados por medio de microorganismos.

Se calcula en 1.000 dólares la tonelada de cobre así recuperado (el precio de referencia en el mercado mundial es de 1.400 dólares la tonelada). En otras palabras, si se recuperara la mitad del 0,3 por ciento del cobre contenido en una tonelada de gangas, la operación arrojaría una utilidad de 600.000 dólares.

El proceso de lixiviación microbiológica es, por tanto, perfectamente rentable desde el punto de vista económico. Entre los diez países del mundo donde se emplea actualmente figuran México, la Unión Soviética y los Estados Unidos. En este último país se utiliza tal procedimiento en once minas de cobre.

Al igual que los microbios ferrobacteriales, los tiobacilos pueden intervenir también en la extracción del uranio de ciertos minerales como la brannerita. El uranio, que se encuentra en una solución en forma de sulfato de uranio, puede extraerse de diversas maneras.

Una de ellas es la que se emplea en las minas de Stanrock, Canadá, donde se han obtenido *in situ* 7.500 kilogramos mensuales de óxido de uranio: en las galerías los mineros mojan las paredes donde actúan los microbios con una solución de la que se extrae el uranio una vez bombeada a la superficie. Este procedimiento evita el problema de la conservación y el transporte de considerables cantidades de minerales sin gran valor, problema que se plantea inevitablemente cuando se emplean técnicas más tradicionales.

Suecia posee importantes depósitos de esquistos que contienen escaso uranio; pues bien, no cabe duda de que el metal puede concentrarse mediante la acción indirecta de las bacterias. El coste de la operación no es realmente excesivo si se tiene en cuenta que el precio de la tonelada de uranio excede de 16.000 dólares. Y como se prevé que hacia 1985 la demanda mundial de uranio será diez veces mayor, su extracción por medio de la lixiviación biológica será un procedimiento absolutamente rentable.

Gracias a las bacterias heterótrofas se ha podido obtener una solución del oro contenido en las lateritas auríferas del África occidental, donde un elemento orgánico, soluble en butanol y producido por la bacteria, forma un compuesto con el oro.

En el Instituto de Metales Raros de Irkutsk (Unión Soviética) los científicos están estudiando los procedimientos biometalúrgicos de disolución y precipitación del oro. Según sus declara-

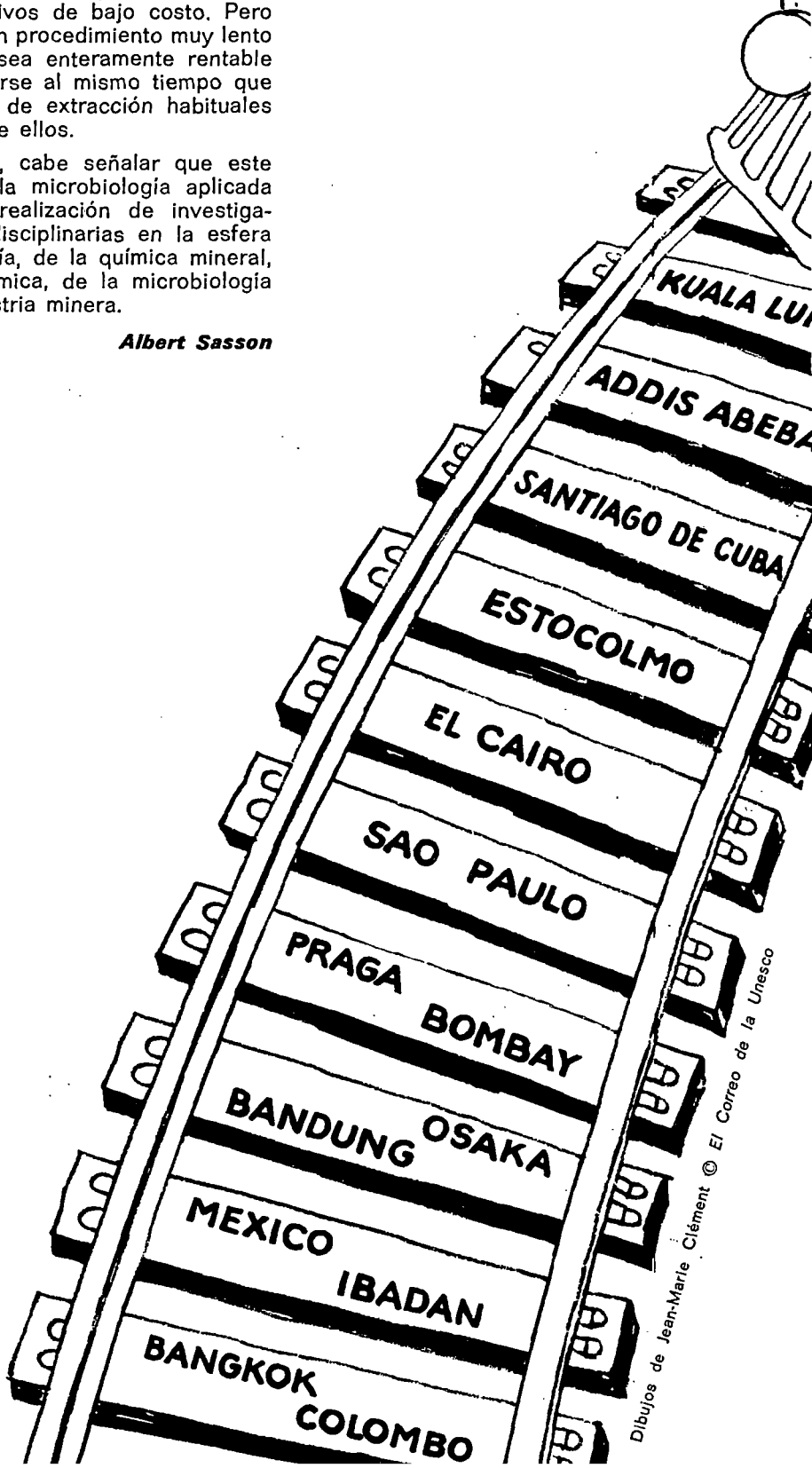
ciones, el 30 por ciento del oro contenido en el mineral fue extraído en 20 horas mediante el proceso de solución.

En lo que toca al manganeso, los minerales generalmente utilizados para su extracción son óxidos, como la manganita y la pirolusita. La oxidación puede deberse a un proceso químico o bioquímico; en este último caso es el resultado de unas bacterias pertenecientes a los géneros *Leptothrix* y *Galionella* (ferrobacteriales). La lixiviación unida a una corrosión avanzada permite extraer el metal de ciertos minerales de bajo contenido en manganeso.

La utilización de los microorganismos para la extracción de algunos metales ofrece, entre otras, la ventaja de requerir escaso (o ningún) empleo de energía, inversiones poco considerables y reactivos de bajo costo. Pero se trata de un procedimiento muy lento y para que sea enteramente rentable debe emplearse al mismo tiempo que los métodos de extracción habituales o después de ellos.

Finalmente, cabe señalar que este aspecto de la microbiología aplicada requiere la realización de investigaciones interdisciplinarias en la esfera de la geología, de la química mineral, de la bioquímica, de la microbiología y de la industria minera.

Albert Sasson



Dibujos de Jean-Marie Clément © El Correo de la Unesco



LA UNESCO CONTRIBUYE AL DESARROLLO MUNDIAL DE LA MICROBIOLOGIA

por **Edgar J. DaSilva**
y **Fabian Fernandes**

EL papel que la microbiología aplicada y los microbios desempeñan en el desarrollo y en el progreso tecnológico es excepcional. Por lo que a los países menos desarrollados se refiere, la microbiología aplicada ofrece grandes posibilidades de progreso dado que esos países disponen

EDGAR J. DASILVA, microbiólogo indio, es vicepresidente de la Federación Mundial de Colecciones de Cultivos de Microorganismos. Actualmente colabora con la Unesco en el programa de microbiología aplicada en los países en desarrollo, realizada conjuntamente con la Organización Internacional de Investigaciones Celulares.

FABIAN FERNANDES, microbiólogo indio, es secretario general adjunto de la Asociación Internacional de Sociedades de Microbiología y jefe del departamento de microbiología del CIBA-Geigy Research Centre de Bombay (India). Miembro de la comisión de microbiología de la Organización Internacional de Investigaciones Celulares (ICRO), se ha dedicado al fomento de nuevos métodos de enseñanza de la microbiología en los países en desarrollo.

en gran parte de los recursos y de las condiciones necesarios para su desenvolvimiento.

Esta es la razón que ha inducido a la Unesco a poner en práctica en los 20 años últimos un programa mundial de investigaciones tanto en materia de microbiología como de biología celular y molecular. Así, en 1962 contribuyó a crear la Organización Internacional de Investigaciones Celulares (ICRO), con la que desde entonces coopera.

Estas ramas de las ciencias de la vida tienen directamente que ver con la solución de tres problemas de gran importancia mundial: la producción y distribución de alimentos, el crecimiento de la población y la extensión y el mejoramiento de la enseñanza de las ciencias.

La Unesco y la comisión de microbiología de la ICRO han emprendido un programa internacional para fomentar las investigaciones sobre los microorganismos, programa consistente en cursillos de formación, intercambio de científicos y reuniones y conferencias especializadas.

Con vistas a desarrollar la cooperación entre los microbiólogos de los países industrializados y los de los

países en desarrollo, se han celebrado en los doce años últimos cuatro grandes conferencias internacionales sobre las repercusiones mundiales de la microbiología aplicada, conocidas con el nombre de GIAM (sigla del inglés « Global Impact of Applied Microbiology »).

La primera de esas conferencias se celebró en Estocolmo (Suecia) en 1963 y en ella participaron científicos, altos funcionarios, representantes de los gobiernos y responsables de la elaboración de la política científica de diversos países. El tema de sus deliberaciones fue la producción por medio de microorganismos de vitaminas, aminoácidos y antibióticos de utilización no medicinal y la producción de enzimas microbianas.

La segunda conferencia se reunió en Addis Abeba (Etiopía) en 1967. Gracias a la participación de numerosos microbiólogos de África, la Conferencia pudo contribuir al desarrollo de la microbiología en este continente. Otra de las consecuencias de la GIAM II fue un programa de investigaciones sobre el cultivo en gran escala del alga *Spirulina*, productora de sustancias alimenticias, que se emprendió posteriormente en la Universidad de Osaka (Japón).

Carta a un microbiólogo en

Mi joven amigo:

Me dirijo a ti y a tus compañeros de estudios, a vosotros que amais las transformaciones y que buscáis una gran tarea capaz de suscitar vuestro entusiasmo y de mantenerlo vivo hasta vuestra vejez.

Por eso voy a tratar de una rama clave de la ciencia, una rama del árbol inmenso que constituye el esfuerzo humano: me refiero a la microbiología. Primero, porque es ella la que une las hojas vivificantes de la biología molecular al poderoso tronco de la tecnología. Y, además, porque constituye en sí misma un ejemplo estimulante de la manera como el potencial destructivo de ciertas aplicaciones miopes de la ciencia puede ser dirigido hacia la satisfacción de grandes necesidades sociales.

La Convención de las Naciones Unidas sobre la prohibición del desarrollo, la producción y el almacenamiento de armas bacteriológicas (biológicas) y tóxicas y sobre su destrucción — firmada el 10 de abril de 1972 en Washington, Londres y

CARL-GÖRAN HEDEN, bacteriólogo sueco, es director del Departamento de Bacteriología y Biotecnología del Instituto Karolinska de Estocolmo (Suecia). Sus investigaciones actuales se realizan en la esfera de la utilización de los microbios con fines pacíficos, la energía microbiana y la tecnología microbiana automatizada para el control de la calidad de los alimentos y del medio ambiente. Es presidente del Comité Asesor Internacional del Programa sobre las Repercusiones Mundiales de la Microbiología Aplicada y miembro de la comisión mixta Unesco-ICRO (Organización Internacional de Investigaciones Celulares).

Moscú —, fue el primer acuerdo internacional que no se limitó a suprimir un potencial bélico existente sino que destacó la importancia de su reconversión con fines pacíficos.

El mejoramiento del medio ambiente gracias al control biológico de los microbios, el aprovechamiento de los residuos, la distribución geográfica razonada de las fuentes de energía, la producción a bajo costo de medicamentos «milagrosos» y de alimentos mediante los procesos de fermentación, son sólo unas cuantas de las innumerables posibilidades que se ofrecen a nosotros.

Pero acaso la más importante de todas sea la perspectiva de que los diversos procesos microbiológicos suministren una «tecnología intermedia» adecuada a los países menos industrializados cuya agricultura produce sustancias que favorecen el cultivo de los microbios útiles.

Y cada una de esas personas desfiguradas por la leishmaniosis, debilitadas por la malaria o expuestas a otras enfermedades infecciosas a causa de la malnutrición, constituyen un desafío a quienes se dedican a la microbiología aplicada y a las instituciones del sistema de las Naciones Unidas encargadas de promover la utilización de los microorganismos con fines pacíficos.

Hoy leemos tanto sobre las deficiencias de la sociedad y el deterioro del medio que olvidamos que en el siglo pasado hubo un aumento sin precedentes de las posibilidades humanas y de la esperanza de vida. En lo que

respecta al de esta última, se ha atribuido frecuentemente al empleo de los antibióticos, de la quimioterapia y de las vacunas.

Sin embargo, si se comparan los índices de mortalidad infantil en Gran Bretaña a causa de la tuberculosis, la difteria, la escarlatina y la pulmonía en 1940 (antes de la aparición de los antibióticos y de las vacunas modernas) con los de 1900, se advierte que la relación, en cada una de esas enfermedades, es respectivamente de 537 a 24, de 215 a 5, de 31 a 3 y de 2.450 a 990 defunciones por cada 100.000 niños menores de un año.

El efecto de las transformaciones sociales aparece aun con mayor claridad si observamos la situación que reinaba un siglo antes, en 1840. Un niño nacido en Inglaterra por esa fecha tenía una esperanza de vida de 21 años si sus padres disponían solamente de una habitación y de 40 si nacía en una vivienda de cuatro habitaciones.

Por útil que sea, este dato —que debo al Dr. Sven Heinild— no debe inducirnos a menospreciar los efectos históricos de la microbiología en los fenómenos sociológicos en gran escala, tales como el crecimiento de la población, el aumento de la producción de alimentos y la difusión de nuevas ideas en materia de biología.

Y todo ello presupone un control de las principales enfermedades epidémicas; pues bien, el éxito en esta esfera es tal que en pocos años podrá eliminarse, por ejemplo, la viruela, si una guerra no viene a entorpecer ese esfuerzo.

Los resultados de esta y otras experiencias fueron presentados en la tercera conferencia que tuvo lugar en Bombay (India) en 1969. La GIAM III dio lugar a la fundación de departamentos de microbiología en las universidades de Bombay y de Goa y a la creación de una beca de dos años para el estudio de esa ciencia en la Universidad de Bombay.

Asimismo, la Conferencia de 1969 hizo posible que se reunieran microbiólogos de Japón, México, Filipinas, Checoslovaquia, India, Israel, los Países Bajos, Estados Unidos y la Unión Soviética, para estudiar a fondo la producción de proteínas unicelulares a partir del petróleo y de los residuos de hidratos de carbono, un campo de investigación en el cual la Unesco ha colaborado con el Grupo Consultivo del sistema de las Naciones Unidas sobre las proteínas.

El porvenir de la microbiología en los países en vías de desarrollo fue uno de los temas más importantes de la cuarta conferencia internacional,

convocada en São Paulo (Brasil) en 1973. Durante su celebración se organizaron diversos cursos en distintos lugares del país, en los cuales participaron muchos de los delegados internacionales. Asimismo se organizaron coloquios sobre «El papel de la microbiología en la planificación de una ecología humana equilibrada», «Enseñanza y formación en materia de microbiología» y «El porvenir de la microbiología en los países en vías de desarrollo».

Gracias a su participación en esas conferencias y cursos de formación, los científicos de los países industrialmente desarrollados pudieron comprender mejor los problemas a que deben hacer frente sus colegas de los países en desarrollo.

La próxima conferencia sobre las repercusiones mundiales de la microbiología, que se celebrará en 1976 en Kuala Lumpur (Malasia), se ocupará de algunos problemas inmediatos relativos a las aplicaciones de la microbiología en la producción indus-

trial y de energía y en la calidad de la vida, a la microbiología alimentaria, a la conservación de los microorganismos útiles y a la microbiología básica de esa región.

Algunos especialistas están realizando ya estudios sobre las posibilidades de enriquecer el nitrógeno de los suelos: en Africa, el profesor Aba Ayanaba, de Nigeria; en Brasil, la profesora Johanna Debereiner; en Indonesia, el Dr. Susono Saono; y en el Centro de Investigaciones Biológicas de la Academia de Ciencias de Hungría el Dr. Adam Kondorosi y el profesor Rollin Hotchkiss, consultor de la Unesco.

En el marco del programa Unesco-ICRO se han organizado cursos de duración variable en Brasil, Checoslovaquia, Etiopía, India, Indonesia, Japón, Malasia, México, Nigeria, la República Árabe de Egipto y Sri Lanka (Ceilán), para poner de relieve la importancia de las aplicaciones de la microbiología y de la técnicas de fermentación con vistas al desarrollo económico nacional.

De todos modos, ha sido sólo en los últimos cien años cuando hemos aprendido de los microorganismos ciertas normas que permitirían otras transformaciones importantes de nuestro medio ambiente. Nos han enseñado, por ejemplo, cómo las células economizan energía y materiales mediante líneas de comunicación y de transporte cortas, sistemas de reproducción simples, circuitos de control múltiples y un proceso extensivo de integración.

Tales principios, así como la abundancia de productos naturales susceptibles de ser reaprovechados, influirán sin duda alguna en las prácticas industriales del porvenir. Actualmente la industria emplea ya catalizadores biológicos (o enzimas) y antes de que termine nuestro siglo se podrán utilizar sistemas de transporte de energía análogos a los que se observan en los microorganismos.

Estos procedimientos, que han demostrado ser sumamente eficaces a temperaturas y presiones bajas, ofrecen múltiples posibilidades de economizar no solamente energía sino también grandes cantidades de metales, por no hablar de los diversos subproductos que actualmente consideramos como agentes contaminantes.

Aunque las enzimas nos ofrecen perspectivas fascinadoras, es probable que la fermentación suministre los medios más baratos para la realización de muchos procesos de síntesis.

Es en esta esfera donde la genética microbiana puede permitirnos pintar el porvenir con los colores más brillantes: gracias a ella sabemos que las bacte-

rias son capaces de aprender a fabricar sustancias que sólo producen los organismos superiores, e incluso con mayor economía de medios y eficacia que estos últimos. Tal es el caso de ciertas hormonas para cuya obtención es preferible recurrir a una síntesis realizada por los microorganismos en vez de a la producción animal.

Resulta pues razonable prever la posibilidad de transferir algunas propiedades microbianas a los organismos superiores. Por ejemplo, para el tratamiento de ciertas deficiencias enzimáticas graves en el hombre, podría realizarse una transferencia microbiana de los genes que participan en la síntesis de las enzimas necesarias.

Además, si se pudieran aislar gérmenes capaces de ser trasladados a las raíces de las plantas de cultivo más común, como los cereales, cuya consecuencia sería una fijación del nitrógeno atmosférico similar a la que se observa en las leguminosas, los resultados económicos y sociales de esa operación serían considerables.

De todo ello resulta evidente que, si decidís dedicaros a la microbiología, tendréis innumerables oportunidades de contribuir al mejoramiento de la humanidad. Pero no os consoléis recordando que Luis Pasteur, al terminar sus estudios en Besançon, obtuvo en química la calificación de «medio». Es verdad que eso no le impidió crear la estereoquímica, pero, cuando posteriormente echó las bases de la microbiología moderna, los conocimientos pertinentes de que se disponía entonces no eran muy numerosos.

Por el contrario, quien estudia microbiología en nuestra época debe trepar sobre los hombros de los innumerables colegas que le han precedido, si quiere avizorar algo realmente nuevo. Como los aspectos de la microbiología que se desarrollan más rápidamente se hallan en la encrucijada con otras ciencias, debe saber mucho de matemáticas, biofísica y bioquímica, así como conocer bien los fundamentos de por lo menos una ciencia madre, ya sea medicina o veterinaria, agricultura o nutrición, biología o ingeniería. Ello representa un arduo trabajo y, en muchos lugares del mundo, una recompensa económica tristemente inadecuada.

Pero, en cambio, podrá tener la satisfacción de influir en la opción que la humanidad tendrá que hacer ahora, cuando se acerca al cruce de dos caminos: uno que lleva a la especialización creciente y a la capacidad destructora cada vez mayor, otro que conduce a nuevos horizontes en materia de cooperación y de desarrollo del espíritu humano.

El gran desafío ya no es el espacio interplanetario sino ese espacio interior que nada tiene que ver con la búsqueda individualista de nuevas dimensiones espirituales. Se trata, más bien, del espacio en que está contenido ese microcosmos de la vida invisible que nos rodea desde el primer aliento hasta el último suspiro. Para entrar en él no basta un microscopio: se necesita, además, el conocimiento. Ya lo dijo Goethe: «Para ver hay que saber.»

Carl-Göran Héden

La Unesco ha desempeñado un papel precursor en los aspectos de la microbiología anteriormente enumerados. En 1965 inició, juntamente con la comisión de la ICRO sobre los cambios genéticos y la interacción de los virus y de las células, y bajo la dirección del profesor norteamericano Salvador Luria, Premio Nobel de Fisiología y Medicina, una encuesta tendiente a compilar un «Registro internacional de existencias genético-microbianas». Un año más tarde, la Unesco reunió a un grupo de especialistas para que estudiaran los problemas referentes a las colecciones de cultivos y a las técnicas de conservación de los recursos genéticos.

En colaboración con la Asociación Internacional de Sociedades de Microbiología y su sección de colecciones de cultivos, la Unesco ha prestado asistencia a la Federación Mundial de Cultivos de Microorganismos para que elaborara un «Repertorio mundial de colecciones de cultivos». Además, la Federación ha recibido con tal fin la ayuda de la Organización Mundial de

la Salud, de la Organización del Commonwealth Británico para la Investigación Científica y Técnica (con sede en Australia) y, posteriormente, del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

El repertorio se basa en los datos de una encuesta, tratados por una computadora, sobre microbios nucleados y no nucleados, virus animales, bacterianos y vegetales y cultivos de tejidos animales, humanos, de insectos y de plantas de más de 350 colecciones de cultivos tanto de los países desarrollados como de los que se encuentran en vías de desarrollo.

La cooperación entre la Unesco y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente condujo a la creación y desarrollo del Centro Mundial de Datos sobre los Microorganismos en la Universidad de Brisbane, Australia, garantizando así la conservación de una información preciosa sobre las colecciones de cultivos útiles en los países en desarrollo.

La Unesco y la comisión de micro-

biología de la ICRO han emprendido también un modesto programa de becas destinado a dispensar una formación altamente especializada a los jóvenes microbiólogos de los países en desarrollo. Competentes investigadores de Cuba, Ghana, Guatemala, Etiopía, India, Indonesia, Malasia, Nigeria y Sudán han profundizado sus conocimientos en laboratorios de Checoslovaquia, Suecia, Malasia, los Países Bajos y Estados Unidos.

La microbiología puede servir a los países en desarrollo tal como ha contribuido al progreso tecnológico de los países industrializados. La utilización de fertilizantes e insecticidas microbianos para aumentar la producción y la protección de los cultivos agrícolas y el control de las actividades de los microorganismos para reaprovechar los residuos utilizables y mejorar las industrias alimentarias tradicionales aportarán inmensos beneficios a los países en desarrollo en los próximos decenios.

Edgar J. DaSilva y Fabian Fernandes

NUESTROS ANTEPASADOS LOS MICROBIOS

(viene de la pág. 26)

tamaño diminuto y en la gran superficie que, consiguientemente, poseen por gramo de materia viva. Esta circunstancia, unida a la brevedad de sus líneas de transporte internas, permite a los más voraces de ellos absorber el doble de su peso en un cuarto de hora.

La ubicuidad de los microorganismos ilustra perfectamente sus posibilidades: se los encuentra en el mar Muerto y en el agua destilada, en las capas superiores de la atmósfera y en lo más profundo de los océanos, en las fuentes de agua caliente y en las regiones polares. Llegan incluso a fijar su domicilio en los intestinos de los mamíferos, facilitando la digestión, y se establecen también en las tuberías subterráneas de hierro, que contribuyen a corroer.

Decir que los microorganismos son tan indispensables para el medio humano como el oxígeno y el agua, decir que es éste el aspecto esencial de los beneficios que nos proporcionan, sería a pesar de todo minimizar sus méritos. Todos sabemos cuán enormes son las cantidades de oxígeno, de agua, de hidratos de carbono y de proteínas que absorbe un ser humano a lo largo de toda su vida, cuando su régimen alimenticio es adecuado.

Ahora bien, la producción de todas esas sustancias se basa en una o varias funciones de los microorganismos. Las algas del océano producen aproximadamente la mitad del oxígeno

consumido de ese modo; no habría agua potable si los microorganismos no se encargaran de su purificación; los cereales y las plantas azucareras no brotarían si los microbios dejaran de producir el anhídrido carbónico y no fueran capaces de fijar el nitrógeno; los propios herbívoros no crecerían sin la población microbiana que se desarrolla en su panza y que fracciona la celulosa en sustancias digeribles.

Sería una montaña impresionante la que produciría un solo hombre durante toda su vida si no hubiera microorganismos que deshicieran sus desechos y los devolvieran a los ciclos naturales.

En vez de seguir dependiendo pasivamente del mundo microbiano para su supervivencia, el hombre ha aprendido a explotarlo deliberadamente y a aprovecharlo con distintos fines (como se explica en otro lugar de este mismo número).

Una de las aplicaciones principales es el tratamiento de las aguas residuales. La más importante industria microbiológica del mundo no es en lo esencial sino una intensificación por medio de la tecnología de la mineralización natural realizada por los microorganismos.

Esta mineralización entra en juego cuando los residuos están tan cargados que los microorganismos quedan totalmente desbordados y no pueden desempeñar su cometido si no se les ayuda. Ahora bien, los hombres no han aprendido todavía a hacer del tratamiento de las basuras algo distinto de

una lucha contra un factor molesto, es decir, una aportación positiva al funcionamiento de los ciclos naturales. Con harta frecuencia, la energía y los minerales contenidos en las basuras se disipan en el medio ambiente, en lugar de ser introducidos de nuevo en éste en los puntos estratégicos, allí donde los ciclos naturales podrían necesitarlos.

Pero, por la presión de los acontecimientos, estamos aprendiendo que es preferible reaprovechar los residuos, en vez de eliminarlos meramente. Las lecciones nos llegan desde varios lados a la vez. El reaprovechamiento es indispensable, por ejemplo, durante las estancias prolongadas en el espacio exterior. En este caso, los sistemas establecidos para mantener la vida a bordo de las naves espaciales reproducen fielmente los ciclos biogeoquímicos de esa otra nave espacial que es nuestra Tierra.

No hace ni cien años que el hombre empezó a comprender los ciclos biogeoquímicos y el papel que desempeñan los microbios. Y solamente desde hace unos diez empieza a tener nociones cuantitativas a ese respecto.

Al prestar más atención al problema, nos sentimos también más interesados por que esos sistemas que nos permiten sobrevivir no sean alterados. Los esfuerzos de las Naciones Unidas para conservar y mejorar el medio ambiente han de permitir vigilar atentamente la parte microbiológica del mismo.

Jan Wilhelm Maurits La Rivière

UN EJEMPLO DE COEXISTENCIA PACIFICA

(viene de la pág. 25)

esta manera comienza una fermentación anaerobia que produce diversos ácidos orgánicos y gas —dióxido de carbono y metano.

Los ácidos orgánicos son absorbidos y utilizados por el rumiante como fuente de energía, o bien convertidos en aminoácidos y en vitaminas que servirán al organismo. La alimentación de los seres humanos en carne y otros productos se basa fundamentalmente en los animales; así pues, la actividad microbiana que se desarrolla en la panza posee una gran importancia económica.

Ocurre también que los microorganismos entran en competición y provocan enfermedades en los animales superiores. Los principios de las enfermedades infecciosas han dado lugar a los descubrimientos más espectaculares y significativos del siglo pasado. Estos descubrimientos han desembocado en la adopción de medidas tera-

péuticas y preventivas que han tenido gran influencia sobre las condiciones de vida de la humanidad.

No solamente ha sido posible producir un gran número de plantas y animales resistentes a las enfermedades, sino que además muchas de las enfermedades humanas, las más terribles, han sido dominadas.

El control de las enfermedades infecciosas se ha logrado gracias a las medidas de higiene pública, muchas de las cuales se deben en parte a la microbiología: mejoramiento de las condiciones higiénicas, campañas de vacunación, descubrimiento de los antibióticos. He aquí, por ejemplo, en qué proporción ha disminuido desde hace treinta años el número de casos observados de determinadas enfermedades graves: lepra, 99%; fiebre amarilla, 86%; cólera, 85%; viruela, 83%; tífus, 63%.

Estos ejemplos podrían hacer creer

que, en su lucha contra los microbios, la humanidad ha vencido: un poco más de tiempo y todas las enfermedades infecciosas quedarán dominadas. Semejante esperanza no es vana.

Desgraciadamente, las cifras muestran que un determinado número de enfermedades conocidas y que se creía vencidas comienzan a extenderse de nuevo; es el caso del sarampión, las paperas, la disentería y las enfermedades venéreas. Además, los conocimientos sobre un gran número de enfermedades, extendidas por el mundo entero, son muy incompletos. La bilharziosis, enfermedad debilitadora de la que padecen alrededor de 200 millones de personas, es un ejemplo de ello. Por otra parte, varias enfermedades de virus han sido mal conocidas. De ahí la necesidad de que los microbiólogos aprendan mucho más sobre las asociaciones de microorganismos.

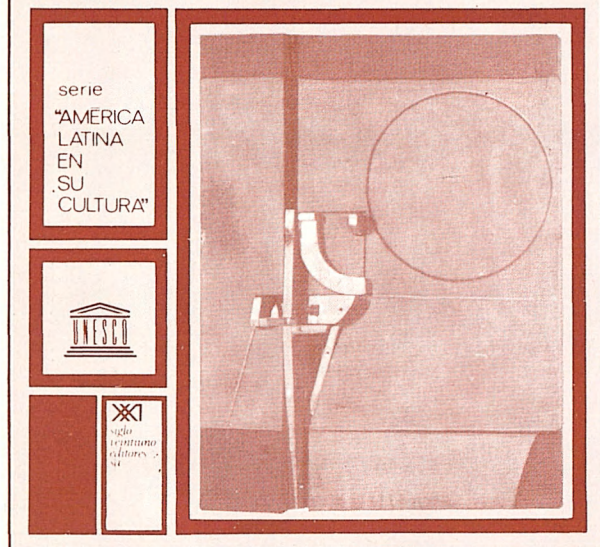
John Roger Porter

Acaba de aparecer

Un estudio fundamental de la Unesco sobre el arte latinoamericano

América Latina en sus artes

Relator
DAMIÁN BAYÓN



237 páginas

25 francos franceses

Es éste el segundo volumen de la serie que, bajo el título general de « América Latina en su cultura », ha emprendido la Unesco hace unos años. El primero tenía por tema *América Latina en su literatura*. Ulteriormente aparecerán otros sobre diversos aspectos de la cultura latinoamericana.

En los catorce ensayos que componen el presente volumen, varios destacados escritores y críticos latinoamericanos se ocupan de las llamadas artes plásticas o visuales en el continente. Quedan pues al margen la arquitectura, la música y las artes del espectáculo, objeto de sucesivos estudios.

El libro se inicia con una introducción sobre la aparición, la existencia y la situación del arte latinoamericano en el mundo actual, continúa con el estudio pormenorizado de los temas y los problemas más característicos del mismo y concluye con un análisis del quehacer artístico dentro de la sociedad en que tiene lugar.

El libro se completa con una noticia sumaria de los colaboradores, una cronología del arte latinoamericano y una síntesis bibliográfica y por capítulos.

Publican conjuntamente el volumen la Unesco y Siglo XXI Editores, S.A., de México.

La distribución en los países latinoamericanos corresponde en exclusiva a Siglo XXI Editores y en España a la Unesco.

Para renovar su suscripción y pedir otras publicaciones de la Unesco

Pueden pedirse las publicaciones de la Unesco en todas las librerías o directamente al agente general de ésta. Los nombres de los agentes que no figuren en esta lista se comunicarán al que los pida por escrito. Los pagos pueden efectuarse en la moneda de cada país.

★

ANTILLAS HOLANDEAS. C.G.T. Van Dorp & C^o. (Ned. Ant.) N.V. Willemstad, Curaçao. — **ARGENTINA.** Editorial Losada, S.A., Alsina 1131, Buenos Aires. — **REP. FED. DE ALEMANIA.** Todas las publicaciones: Verlag Dokumentation, Posenbacher Strasse 2, 8000 München 71 (Prinz Ludwigshöhe). Para « UNESCO KURIER » (edición alemana) únicamente: Vertrieb Bahrenfelder Chaussee 160, Hamburg-Bahrenfeld, C.C.P. 276650. — **BOLIVIA.** Los Amigos del Libro, Casilla postal 4415, La Paz; Casilla postal 450, Cochabamba. — **BRASIL.** Fundação Getúlio Vargas, Serviço de Publicações, caixa postal 21120, Praia de Botafogo 188, Rio de Janeiro, GB. — **COLOMBIA.** Librería Buchholz Galería, avenida Jiménez de Oesada 8-40, apartado aéreo 49-

56, Bogotá; Distrilibros Ltda., Pío Alfonso Garcá, carrera 4a, Nos. 36-119 y 36-125, Cartagena; J. Germán Rodríguez N., calle 17, Nos. 6-59, apartado nacional 83, Girardot, Cundinamarca; Editorial Losada, calle 18 A Nos. 7-37, apartado aéreo 5829, apartado nacional 931, Bogotá; y sucursales: Edificio La Ceiba, Oficina 804, Medellín; calle 37 Nos. 14-73, oficina 305, Bucaramanga; Edificio Zaccour, oficina 736, Cali. — **COSTA RICA.** Librería Trejos S.A., Apartado 1313, San José. — **CUBA.** Instituto Cubano del Libro, Centro de Importación, Obispo 461, La Habana. — **CHILE.** Editorial Universitaria S.A., casilla 10.220, Santiago. — **REPUBLICA DOMINICANA.** Librería Dominicana, calle Mercedes 45-47-49, apartado de correos 656, Santo Domingo. — **ECUADOR.** Casa de la Cultura Ecuatoriana, Núcleo del Guayas, Pedro Moncayo y 9 de Octubre, casilla de correo 3542, Guayaquil. — **EL SALVADOR.** Librería Cultural Salvadoreña, S.A., Calle Delgado No. 117, San Salvador. — **ESPAÑA.** Ediciones Iberoamericanas, S.A., calle de Oñate 15, Madrid 20; Distribución de Publicaciones del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Vitrubio 16, Madrid 6; Librería del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Egiptíacas 15, Barcelona; Ediciones Liber, apartado 17, Ondárroa (Vizcaya). — **ESTADOS**

UNIDOS DE AMERICA. Unipub, a Xerox Education Company, P.O. Box 433, Murray Hill Station, Nueva York N.Y. 10016. — **FILIPINAS.** The Modern Book Co., 926 Rizal Avenue, P.O. Box 632, Manila, D-404. — **FRANCIA.** Librairie de l'Unesco, 7-9, place de Fontenoy, 75700 Paris (C.C.P. Paris 12.598-48). — **GUATEMALA.** Comisión Nacional de la Unesco, 6a. calle 9 27, Zona 1, apartado postal 244, Guatemala. — **JAMAICA.** Sangster's Book Stores Ltd., P.O. Box 366; 101, Water Lane, Kingston. — **MARRUECOS.** Librairie « Aux Belles Images », 281, avenue Mohammed-V, Rabat. « El Correo de la Unesco » para el personal docente: Comisión Marroquí para la Unesco, 20, Zenkat Mourabitine, Rabat (C.C.P. 324-45). — **MEXICO.** CILA (Centro Interamericano de Libros Académicos), Sullivan 31-bis, México 4 D.F. — **MOZAMBIQUE.** Salema & Carvalho Ltda., caixa postal 192, Beira. — **PERU.** Editorial Losada Peruana, apartado 472, Lima. — **PORTUGAL.** Dias & Andrade Ltda., Livraria Portugal, rua do Carmo 70, Lisboa. — **REINO UNIDO.** H.M. Stationary Office, P.O. Box 569, Londres S.E. 1. — **URUGUAY.** Editorial Losada Uruguaya, S.A. Librería Losada, Maldonado 1902, Colonia 1340, Montevideo. — **VENEZUELA.** Librería del Este, Av. Francisco de Miranda, 52-Edificio Galipán, apartado 60337, Caracas.



LOS AMORES DE
UN GUISANTE
Y UNA BACTERIA



Un matrimonio feliz

Este número está enteramente ilustrado con dibujos humorísticos que para nuestra revista han realizado Jean-Marie Clément y Safoura Assia (véase la pág. 5). Por los que aquí se reproducen podemos comprobar cómo los microorganismos son a veces los peores enemigos del hombre (arriba a la derecha), pero también sus mejores aliados, necesarios para que la vida en nuestro planeta pueda subsistir. Un ejemplo significativo: en las raíces de los frijoles, de los guisantes, de la soja, etc., existen bacterias que se nutren del azúcar de esas leguminosas pero que al mismo tiempo, como contrapartida, les permiten fijar el nitrógeno del aire y producir así proteínas, elemento indispensable para la alimentación de los hombres y de los animales. Inspirándose en este feliz matrimonio natural, los científicos esperan suscitar, para mayor provecho de la humanidad, otros tipos de asociaciones entre microorganismos y vegetales.

Dibujos Jean-Marie Clément y Safoura Assia
© El Correo de la Unesco

PARA TI
ASIMILARE
EL NITROGENO
DE LA ATMOS-
FERA.

Y YO TE
DARE
AZUCAR

