

DE LA VIDA DE LAS PLANTAS Y DE LOS HOMBRES

Autor:

MANUEL ROJAS GARCIDUEÑAS



INDICE

COMITÉ DE SELECCIÓN

EDICIONES

EN UN DÍA TRANQUILO

I. LA ENERGÍA DE LA VIDA

II. LA MATERIA VIVIENTE

III. LA REGULACIÓN DE LA VIDA

IV. EL PROGRAMA VITAL

V. EL COMPLEJO VITAL

VI. LA EVOLUCIÓN DE LA VIDA

VII. LA FINALIDAD DE LA VIDA

CIENTÍFICOS Y FILÓSOFOS ALUDIDOS EN EL TEXTO

CONTRAPORTADA



COMITÉ DE SELECCIÓN

Dr. Jorge Flores
Dr. Leopoldo García-Colín Scherer
Dr. Tomás Garza
Dr. Gonzalo Halffter
Dr. Guillermo Haro †
Dr. Jaime Martuscelli
Dr. Marcos Moshinsky
Dr. Héctor Nava Jaimes
Dr. Arcadio Poveda
Dr. Juan José Rivaud
Dr. José Sarukhán

Coordinadora Fundadora:

Física Alejandra Jaidar †

Coordinadora:

María del Carmen Farías

EDICIONES

Primera edición, 1991

La Ciencia para Todos, es proyecto y propiedad del Fondo de Cultura Económica, al que pertenecen también sus derechos. Se publica con los auspicios de la Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica de la SEP y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

D. R. © 1991, FONDO DE CULTURA ECONÓMICA, S A. DE C. V.

Av. de la Universidad, 975; 03100 México, D.F.

ISBN 968-16-3583-3

Impreso en México.

Este libro no es un texto de biología vegetal; tampoco es, hablando estrictamente, una obra de divulgación científica. Es un relato en lenguaje sencillo de cómo viven las plantas y de lo que su vida nos enseña. En torno a la narración biológica se producen reflexiones que quizá nos ayuden a conocernos mejor, sabio consejo que diera Sócrates hace más de dos mil años y que sigue siendo válido.

EN UN DÍA TRANQUILO

Media tarde: el Sol baña los campos; sobre prados y caminos se deslizan las sombras de las nubes... Inmóvil en la quietud del aire una planta de girasol silvestre yergue sus cabezas amarillas. ¿Qué es esta planta tan común, tan humilde? Para Van Gogh es una criatura de Dios y la pinta con amoroso deleite. Para un botánico es un ejemplar de la flora del lugar; la colecta, la prensa entre papeles, le pone una etiqueta con el elegante nombre de *Helianthus annuus* y la almacena (¡hay tantas cosas que los académicos almacenan desecadas y etiquetadas!). Para el granjero es un ladrón, les roba el agua, la luz y el nitrógeno a sus cultivos; toma la azada y... ¡paf! Para el pobrecillo sin pan, sus semillas podrían matarle el hambre por un tiempo. Y para el buen viejo Van Leeuwenhoek, admirable tallador de lentes, es un espécimen más para estudiar al microscopio. Pidámosle permiso cortésmente y sin duda nos dejará ver a través de su artefacto, pues está muy orgulloso de él y le complace mostrarlo.

¡Qué arquitectura admirable! Al microscopio el cuerpo del girasol se mira constituido por innumerables celdillas o células que se arreglan en disposiciones simétricas. No todas las células son iguales; algunas son largas, de paredes tan gruesas y leñosas que

realmente son astillas microscópicas de madera; son las fibras de esclerénquima que mantienen al tallo erecto y firme. Otras células son cilindros cortos y huecos que se unen entre sí formando largas tuberías que ascienden desde la raíz al tallo y entran a las hojas constituyendo las nervaduras; es el xilema que lleva agua y nutrientes del suelo a todo el vegetal. Hay muchísimas células relativamente pequeñas, de paredes delgadas que encierran un líquido viscoso en el que flota una esferilla incolora y unos gránulos verdes; son células vivas llamadas parénquimas, con protoplasma y núcleo y cloroplastos que fabrican alimentos. Hay otras clases de células con diversas funciones, todas encerradas en sus paredes de celulosa o de leño.

Las paredes celulares no son continuas; poseen pequeños orificios por los que el protoplasma de una célula se comunica con su vecina compartiendo sus estímulos y respuestas. Todas las células integran sus funciones para llegar a un fin común: la vida de la planta. El cuerpo vegetal está recorrido por la savia alimenticia que unas células hacen, la cual comparten con las que carecen de cloroplastos, así como por el agua que unas células de la raíz absorben del suelo y se riega por el tallo y hojas. Algunas células forman moléculas que viajan llevando mensajes a otras células y hacen que se formen nuevas hojas, ramas, flores y frutos: son las hormonas. Las células tienen vida autónoma pero no funcionan de modo anárquico; por ello el girasol no es un mero conjunto de células sino un todo organizado, una estructura funcional, un sistema.

Si en lugar de la lente de Van Leeuwenhoek poseyéramos los ojos de Super-Superman veríamos las moléculas en el interior de la célula danzar, fundirse en otra, separarse, duplicarse. Las veríamos también ¡atrapando incluso a los fotones, a las partículas de luz!. El girasol es un sistema de comunicación con el medio externo: es un sistema abierto.

Si tenemos paciencia y observamos la planta varias veces a lo

largo del día veremos las grandes "flores" (inflorescencias) del girasol moverse siguiendo al Sol. Otras plantas cierran sus hojas al llegar la noche. Otras cambian la posición de las hojas cuando es muy intensa la luz del mediodía, orientándolas de modo que no reciban el Sol de plano. La planta es un sistema abierto y autorregulado.

Pasarán los días y los meses; llegarán vientos fríos y el girasol morirá. Pero antes habrá producido hijos; encerrados en la semilla los embriones resistirán "las nieves y vientos del gélido invierno" para germinar en la primavera. Tras la muerte, la resurrección: el mundo es siempre joven. Y pasarán los siglos y los milenios. Cambiará el clima y los girasoles no podrán vivir en este lugar. Ya no habrá girasoles, pero existirán otras plantas descendientes de ellos que habrán transformado sus estructuras para subsistir. La vida sigue adelante porque es un sistema abierto, autorregulado y evolutivo.

I. LA ENERGÍA DE LA VIDA

EL RATÓN Y LA PLANTA

EN LOS viejos textos de botánica se solía describir el experimento siguiente: "Poned un ratón bajo una campana de cristal y veréis que al cabo de unas horas ha muerto por falta de oxígeno (puede creerse bajo mi palabra que así es, no es necesario asesinar ratoncitos). Colocad ahora otro ratón junto con una planta en una maceta bajo la campana; veréis que el ratón no muere porque la planta purifica el "aire". Así ocurre en efecto, provisto que el ratón no se coma la planta. Es un experimento fácil (no para el animalito) que demuestra la importancia de las plantas para la vida animal; pero no toda la importancia, pues solamente se ob-

serva uno de los efectos del fenómeno llamado fotosíntesis.

Cuando se empezó a estudiar el mundo con métodos científicos se pensó que las plantas respiraban al revés de los animales durante el día e igual a ellos durante la noche. Ingen-Housz describió a fines del siglo XVIII lo que llamó "la reparación diurna y nocturna de los vegetales", que en realidad es la diferencia entre la exhalación de oxígeno por la planta a la luz por la fotosíntesis, y de bióxido de carbono a la oscuridad por la respiración que ocurre haya luz o no la haya. La confusión entre respiración y fotosíntesis se fue aclarando posteriormente con los trabajos de Senebier y De Saussure sobre fotosíntesis y de Lavoisier sobre respiración.

Hoy sabemos con bastante profundidad lo que sucede. Todo ser vivo necesita respirar para vivir. Al respirar se oxida o quema azúcar consumiendo oxígeno y desprendiendo bióxido de carbono y energía, con la cual se llevan a cabo los procesos vitales; así como en un automóvil se oxida la gasolina, se desprenden gases que salen por el escape y queda libre energía, con lo cual se mueve el vehículo. Ningún animal, incluido el hombre, puede hacer azúcar, por lo que debemos comerla en alguna forma, como miel, almidón o sacarosa (azúcar común); la planta verde sabe fabricarla juntando bióxido de carbono y agua por medio de la energía de la luz y desprendiendo oxígeno al aire como subproducto del proceso. La fotosíntesis es, por tanto, la inversa de la respiración pero solamente en los términos inicial y final y no en las reacciones químicas intermedias.

El doble proceso fotosíntesis-respiración es de suprema importancia; gracias a él se mantiene la vida sobre la Tierra y si no lo entendemos no podemos entender las condiciones que necesitamos para vivir. Por ello vale la pena explorarlo un poco más. Debe tenerse en cuenta que son procesos largos y complicados pero aquí los expondremos siguiendo el consejo de Maese Pedro cuando presentó sus títeres a Don Quijote, "sin meternos en con-

trapuntos que se suelen quebrar de sutiles".

PARA ATRAPAR AL SOL

Que la luz es energía y tiene la capacidad de efectuar trabajos lo sabe todo el mundo en estos tiempos en que las celdas fotoeléctricas abren y cierran las puertas de los ascensores y los rayos láser cortan placas de acero. El problema es cómo utilizar la energía lumínica, sea directamente o convirtiéndola en otra forma de más fácil utilización.

En un día claro, la luz solar que baña los campos representa una tremenda cantidad de energía (se habla aquí de la luz, no del calor, que es otra forma de energía) y las plantas saben utilizarla por medio de la clorofila, sustancia que les da el color verde y que es un convertidor de energía lumínica a energía química.

Las moléculas de clorofila tienen una estructura tal que pueden absorber la energía de la luz (como las moléculas que dan color a los ojos, que por eso son la única porción del organismo capaz de ver). Al absorberla aumenta su contenido de energía y quedan capacitadas para efectuar un trabajo: romper las moléculas de agua de su entorno y desprender por un lado hidrógeno y electrones y por otro agua y oxígeno. Un ejemplo lo hará más claro: imagínese una gran campana en cuyo interior hay un vaso de cristal; al descargar en ella un golpe de mazo la campana no se mueve por ser muy pesada sino que transforma la energía del movimiento (cinética) del mazo en energía de vibración resonando fuertemente; la vibración se transmite al aire y al vaso que, al vibrar sus moléculas fuertemente, se hace pedazos.

La energía no se crea ni se destruye, solamente se transforma; el rompimiento de las moléculas de agua en el interior de las células de la hoja determina una serie de reacciones que terminan con la síntesis de dos moléculas, el trifosfato de adenosina y el dinu-

cleótido fosfatado de adenina; por tener tan largos nombres generalmente se les designa por sus siglas: ATP y NADPH, respectivamente. En estas moléculas se encierra la energía que la planta recibió de la luz.

Parecería que el problema se ha solucionado pues ahora el vegetal dispone de energía química utilizable para sus trabajos de nutrición, crecimiento etc. Pero al ATP y el NADPH son en extremo reactivos, inestables; sería como transportar nitroglicerina en una molécula más "tranquila". Para ello el ATP y el NADPH dan su energía a una molécula muy perezosa que es el bióxido de carbono el cual se activa y reacciona con otra molécula en las células de las hojas; después de varias transformaciones se forman glucosa, sacarosa —que es azúcar común— almidón y otros compuestos. La energía contenida en estos productos es la que utilizará la planta en sus procesos vitales y cuando nos comemos los frutos, semillas y hojas incorporamos esos alimentos energéticos a nuestro organismo.

Tal es la fotosíntesis, que debiera llamarse fototransformación pues lo importante es pasar de energía lumínica a energía química. Pero ésta es la mitad de la historia. La planta con azúcar es como el automóvil con gasolina: para que se ponga en marcha hay que oxidar el combustible en un sistema tal que al quedar la energía libre ejecute el trabajo de moverlo.

Toda célula, sea animal o vegetal, contiene "carburadores" llamados mitocondrias, donde el azúcar se oxida o quema. Al hacerlo la energía no se libera como calor sino que ejecuta trabajos químicos y tras diversas reacciones queda presa de nuevo en las moléculas de ATP Y NAD (dinucleótido de nicotinadenina) que son las que directamente ceden la energía para que la célula cumpla sus trabajos vitales. Si el azúcar, o almidón, es consumido por un animal le dará energía precisa para sus actividades. La oxidación de los azúcares es la respiración que se lleva a cabo en todo ser vivo, vegetal o animal; en el hombre, animales y plantas

superiores exigen la presencia de oxígeno, es la respiración aerobia; en varias bacterias, levaduras y mohos no requiere oxígeno, constituyendo diversos tipos de fermentaciones: La fotosíntesis y la respiración forman un ciclo que explica el mantenimiento de la vida sobre la Tierra.

Podemos comer maíz, o trigo, o animales que a su vez comieron estas gramíneas o peces que comieron peces que se nutrieron de algas marinas; al final estamos comiéndonos al Sol, porque la energía del ser vivo no procede de la Tierra sino del Sol, en condiciones naturales, o de otra fuente luminosa en condiciones de cultivo artificial. La energía con que se mueven todos los artefactos que uso, sea que utilicen leña, carbón, carbón de piedra o derivados del petróleo, también provino del Sol y fue fijada por vegetales que vivieron hace un año o hace miles de siglos, porque la energía es indestructible.

Y desde luego, el oxígeno del aire también proviene de la fotosíntesis (dediquemos un piadoso recuerdo al ratoncito muerto en la demostración, uno de cientos de miles de ratones mártires de la ciencia). El oxígeno es un subproducto del proceso central de conversión de la energía pero nos es tan necesario para vivir como el azúcar pues si falta no podemos respirar, o sea oxidar el azúcar. Somos pues parásitos de las plantas. Hemos aprendido a parasitarlas, bastante bien por medio de la agricultura pero aún hemos de aprender mejor cómo utilizar y producir esa asombrosa molécula que encierra la energía del ser vivo: el ATP.

LA ESTRUCTURA NECESARIA

Mi experiencia como profesor me ha enseñado que cuando se explican los ires y venires de las moléculas en la fotosíntesis y la respiración, los estudiantes tienden a considerar estos fenómenos de modo abstracto, como si su única realidad fueran trazos de gis sobre el pizarrón, o como si ocurrieran en algún lugar no precisa-

do del espacio. A menos que se les haga reflexionar no consideran que dichos procesos están ocurriendo en este momento dentro del árbol que ve por la ventana, y dentro de su propio cuerpo, al menos la respiración. Es una trampa que acecha a todo científico y en la que es muy peligroso caer. El estadístico que lloraría al ver un niño muerto juega con los números y afirma que dados los recursos se deben suprimir quinientos consultorios gratuitos en el país; el químico incapaz de matar un gato juega con símbolos y produce gas asfixiante; el físico que no soportaría ver electrocutar a un asesino juega con ecuaciones y llega a una versión más terrible de la bomba atómica.

La fotosíntesis no ocurre en el pizarrón ni en el espacio indeterminado sino en cada célula verde; la respiración ocurre real y verdaderamente en el interior de cada célula de cada ser vivo. Las moléculas son "granitos" de materia que botan y rebotan en el interior de cavidades membranosas en los organillos celulares... Los hombres somos hombres, no ciudadanos, ni unidades estadísticas, ni proyectos evolutivos. Todos sabemos esto, pero es bueno recordarlo de vez en cuando.

¡El verdor de los campos!... Mucho se ha abusado de esta imagen en frases líricas de poemas y novelas, pero en realidad vemos a las hojas verdes por un efecto de óptica, pues si se coloca una porción de hoja al microscopio se verá que las células que la constituyen son incoloras excepto por unos granulillos, los cloroplastos, de un hermoso verde intenso, que no llegan a representar una décima parte de la célula total, pero que, para nuestros ojos, tiñen de verde todo el follaje. A su vez, el cloroplasto que en el microscopio común aparece como un brillante disco verde, al mirarse con el microscopio electrónico muestra que el color solamente se encuentra en unos sitios del organillo que es, en su mayor parte, incoloro.

El cloroplasto se forma por una matriz de proteína gelatinosa en la que se disponen membranas donde se encuentra la clorofila en

sitios determinados llamados grana. Su estructura es complicada pero baste decir que las moléculas que efectúan la fotosíntesis no vagan errabundas en el interior del cloroplasto sino que se estructuran en las membranas internas de modo ordenado, colocadas en lugares precisos, y este arreglo definido permite el flujo de electrones y la síntesis de productos. Conocer en detalle la estructura del cloroplasto es el primer paso para poder construir un sistema artificial análogo y hacer realidad el sueño de muchos biólogos: la producción del alimento energético básico (azúcar y almidón) en plantas industriales en lugar de plantas verdes cultivadas penosamente en el campo.

Las mitocondrias son cuerpecillos con una membrana externa y otra interna que forma pliegues (crestas) y en la cual van absorbidas moléculas que permiten la rápida oxidación del azúcar; son las enzimas respiratorias. Entre las moléculas, como entre mis alumnos, unas pocas son activas por tener un nivel muy alto de energía pero otras son muy perezosas, con bajo nivel de energía. El papel de las enzimas es activar todas las moléculas, por perezosas que sean, levantando su nivel de energía de modo que las reacciones químicas del organismo se efectúen con rapidez.

La estructura molecular de la mitocondria, como la del cloroplasto, es definida y gracias a ella la glucosa se va oxidando en pasos sucesivos, dejando libre la energía que contiene poco a poco para que la célula pueda utilizarla (así como la gasolina se quema gota a gota en un carburador). Cuando yo respiro no respiran mis pulmones sino todas y cada una de mis células; los pulmones son un fuelle que permite la entrada de aire con oxígeno y la salida de aire con bióxido de carbono del interior del cuerpo al exterior.

El conocimiento del cloroplasto y del proceso fotosintético aún no permite tener fábricas de azúcar pero sí ha hecho posible cultivar hortalizas en ambientes controlados, con luz y temperaturas óptimas, obteniendo rendimientos asombrosos, como se describe en la siguiente sección. Puesto que las algas contienen clorofila,

pueden ser fuente de alimento. Algunos países o regiones isleñas siempre han aprovechado las algas como alimento humano u animal, pero ahora existen proyectos para el cultivo de algas, de agua dulce y marinas a nivel comercial. Hay varios sistemas que ya operan de hecho, y si no han adquirido mayor importancia es porque los avances en la técnica agrobiológica y en la producción en ambiente controlado han hecho innecesaria la producción masiva de algas. Hace unos treinta años, cuando el libro *Los límites del crecimiento* puso pavor en los espíritus que viven temiendo a la ciencia, el cultivo de las algas se postuló como uno de los caminos más viables para alimentar a una población desajustada con los recursos del suelo.

Otra aplicación del conocimiento de los procesos de fotosíntesis y respiración es la fabricación de productos capaces de interferir con ellos, bloqueándolos y produciendo así la muerte de la planta que carece de energía para su actividad vital. Los matahierbas o herbicidas han dado lugar al desyerbe químico en los cultivos, pues como la forma de las enzimas varía un poco de una especie de planta a otra se pueden tener herbicidas que matan a las especies de malas hierbas y no dañan el cultivo. En el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey hemos estudiado la acción de dos productos de nombre difícil: fluzifop butilo y haloxifop metilo, demostrando cómo afectan el contenido de clorofila en las gramíneas sin que tengan acción en las no gramíneas. Es un ejemplo entre muchísimos productos.

USANDO Y MALUSANDO LA ENERGÍA

¿Qué tan eficiente es una planta en la transformación de la energía de la luz en energía química? ¿Qué tanto de la energía de la luz queda atrapada en compuestos químicos utilizables por el hombre como alimento o combustible? Son preguntas muy importantes sin duda.

Se han efectuado cuidadosas mediciones en circunstancias muy diversas; en control casi total del ambiente, en control parcial y en el campo; como siempre sucede, hay divergencias pero en resumen se tiene lo siguiente. De la energía lumínica —no calórica— que recibe una planta podría aprovechar teóricamente y como mero ejercicio de cálculo termodinámico un 70%, lo que representa una producción de 2 ton/ha/día de materia seca. En realidad lo más que se ha podido tener experimentalmente es una eficiencia de 35% (1 ton/ha/día de materia seca) y esto en condiciones del todo artificiales, midiendo el gasto de bióxido de carbono por cloroplastos aislados en medio de cultivo. Como quiera que sea, ésta es una medición de hecho y representa probablemente la expectación final o límite de la potencialidad de rendimiento del vegetal.

¿Y qué hay de la producción en el campo? Hace ya sesenta años Transeau determinó para el maíz una eficiencia de entre 1 y 2% con un rendimiento de 12 ton/ha en 100 días, trabajando con los métodos usuales del agricultor. Esto parece muy desalentador, pero debe pensarse que la técnica agrícola de 1926 era pobre y posiblemente Transeau era buen científico pero mal agricultor. Ciertamente un agricultor de nuestros días produce casi esas 12 ton/ha pero solamente de grano; en materia seca total produciría tres o cuatro veces más. En condiciones de clima y suelo muy favorables se han obtenido eficiencias de 4.6 a 9.8%. Es claro que lo que limita la producción no es el potencial de rendimiento de la planta, que es enorme, sino las condiciones ambientales que siempre son inadecuadas: demasiado calor o frío, exceso o falta de luz o de agua, poco nitrógeno, plagas y enfermedades, etc.

Esto ha hecho pensar que si se cultivaran plantas en un lugar donde las variables más importantes del clima estuvieron bajo control, se podría tener una producción segura y además muy alta. Así es, en efecto; en invernaderos donde se controla la temperatura, la luz (intensidad y horas) y la humedad ambiental, se han obtenido cosechas comerciales de tomate de 160 ton/ha en

comparación con 67 ton/ha que es una alta producción de campo en los Estados Unidos; de 220 ton/ha de pepino en lugar de 27 ton/ha que es lo usual para los buenos horticultores norteamericanos, y así en otros cultivos.

Pero ¡cuidado! Estas altas producciones se pagan con un alto costo energético. En un campo natural de mijo el Sol pone toda la energía con que las plantas crecen y se forman los granos; el hombre simplemente cosecha. El indígena que hace hoyos con su coa en los que siembra el maíz y lo cuida arrancando las malezas ya pone algo de su energía metabólica en el cultivo. El agricultor de técnica primitiva prepara y cultiva sus campos con el arado egipcio poniendo en su maíz su energía y la de sus animales de labor, energía que viene de los alimentos que consumieron. El insumo de energía del agricultor tecnificado es mucho mayor: su tractor quema combustible; esparce fertilizantes que contienen energía química insumida al fabricarlos; aplica riego por medio de bombas de gasolina o eléctricas, etc. Si llegamos a la producción en ambiente controlado se verá que el altísimo rendimiento en kilogramos de fruto se acompaña de no menores insumos de energía para el mantenimiento de luz y temperatura a niveles óptimos.

Otra causa de insumo energético radica en la transformación de los alimentos: muy pocos son los que consumimos crudos; al menos hay que aplicar energía calórica para cocerlos o asarlos. En muchos casos la transformación es muy compleja; si se adicionan los insumos de energía para producir maíz en el campo con las técnicas modernas y los insumos necesarios para llevarlo hasta hojuelas o "corn-flakes" resulta que cuando me desayuno estoy consumiendo más energía puesta por el hombre que la que puso el Sol en la planta en el campo.

Es preciso encontrar un justo medio entre el aumento de producción en el campo y la elaboración de alimentos sabrosos por un lado y los insumos de energía por el otro. Hay dos principios

básicos: primero, cuanto menor sea la transformación natural del alimento menor será la energía desperdiciada: cuando bebo leche, tomo la energía del pasto que el animal utilizó y de la cual sólo una fracción está en la leche, si como directamente maíz o trigo evito un proceso dispendioso. Segundo, cuanto menor sea la transformación industrial del alimento menor será el desperdicio de energía: el insumo energético para llevar el trigo a pan o el maíz a tortilla es mucho menor que para llevarlos a cereal en hojuelas. No podemos esperar que la gente se nutra de maíz tostado y arroz hervido o de hortalizas cocidas y ensaladas —la sola idea es desconsoladora— pero sí debemos buscar un equilibrio entre producción, buen sabor y gasto de energía.

Cosa similar sucede cuando se usan los productos energéticos para usarlos como combustible. El uso más directo es la vieja caldera de vapor alimentada con leña o carbón de piedra y posteriormente con petróleo crudo; sin embargo hay motores más eficientes aunque consumen combustibles más elaborados, como el motor de combustión interna movido por gasolina (recuérdese que tanto el carbón de piedra como el petróleo contienen energía producto de la fotosíntesis de plantas, que vivieron hace millones de años). En Brasil se producen comercialmente motores diseñados para funcionar con alcohol que tiene un origen fotosintético indirecto: la caña de azúcar o la madera de los eucaliptos es fermentada por levaduras, y el proceso produce alcohol. Otros motores pueden trabajar con gases combustibles como metano, producidos también en la fermentación. El éxito obtenido con estos motores ha contribuido a que el fantasma de la crisis del petróleo se desvanezca.

UN POCO DE HUMILDAD

El conocimiento de los factores que intervienen en la fotosíntesis, como la intensidad y tipo de luz utilizado (solar, lámpara común,

de sodio, fluorescente, etc.), de la temperatura y de la concentración de bióxido de carbono ha posibilitado una producción muy eficiente de alimentos en condiciones controladas. El conocimiento del proceso de fotosíntesis en sí y las manipulaciones del cloroplasto por ingeniería genética son una promesa de alimentos suficientes para todos, a menos que se persista en la estúpida idea de reproducirse tanto como sea posible. También ha demostrado una importantísima verdad: que todo ser vivo es un ente fisicoquímico sujeto a las leyes generales de la materia.

Por largos años los vitalistas sostuvieron que el ser vivo difiere fundamentalmente del inerte porque sus acciones dependen de una energía (energía vital) de tipo fundamentalmente diferente a la energía que se encuentra en los seres inanimados (calórica, química, eléctrica, cinética). Como prueba aducían que el ser vivo aumenta su complejidad al paso del tiempo lo que es ir contra las leyes de la termodinámica, pues sin duda una gallina es una estructura más compleja que el huevo del que proviene.

Aparte de otras consideraciones de orden molecular celular, la fotosíntesis y la respiración, consideradas a nivel termodinámico han puesto en claro que el ser vivo es un sistema abierto que equilibra su aumento de estructuración interna con la energía perdida por el Sol como luz que el ser vivo integra directa o indirectamente a su cuerpo. Monod presenta en su libro *El azar y la necesidad* un buen ejemplo de cómo la levadura cumple la segunda ley de la termodinámica: todo cuerpo tiende a igualar su estructura interna (o entropía, o energía) con el medio que lo rodea. El ser vivo transforma energía, no la crea ni la destruye, cumpliendo también la primera ley de la termodinámica.

Somos pues seres fisicoquímicos, sujetos a las leyes de la materia. Esta convicción no debe sernos humillante sino hacernos sentir parte integrante del Universo y llevarnos a ocupar un lugar en armonía con el resto del Cosmos. En alguna parte leí la siguiente anécdota. Cierta conferenciante habló largo rato sobre

asuntos muy serios: el Cosmos, la vida, su aparente injusticia, su armonía y equilibrio verdadero, etc. Al final de la sesuda exposición terminó diciendo con énfasis en la voz "...y por lo tanto, yo acepto el Universo". Y uno del auditorio comentó con voz baja pero audible, "Vaya, más le vale". Sin duda es buena filosofía aceptar el Universo si no queremos morir con el hígado destrozado, pues por desgracia no nos preguntaron nuestra opinión cuando lo hicieron.

II. LA MATERIA VIVIENTE

UN ABUELO ALQUIMISTA

EL VIEJO médico Jan Baptiste van Helmont era un espíritu del Renacimiento: tenía sus resabios de alquimista seguidor de Paracelso pero efectuó un experimento por el que podría ser considerado el abuelo de la fisiología vegetal. Pesó cierta cantidad de suelo, tomó un arbolillo joven, lo pesó y lo plantó en él; por cinco años lo regó y cuidó, tras de lo cual lo sacó y lo pesó anotando que había aumentado 164 libras; pesó de nuevo el suelo y advirtió que solamente había disminuido 2 onzas; no lo creyó importante y concluyó que "por tanto 164 libras de madera, corteza y raíces se produjeron por transformación del agua solamente". La conclusión es falsa, pues el aumento de peso del árbol incluye las onzas de suelo faltantes que son el nitrógeno, fósforo y demás elementos y se debió primordialmente a la fijación del bióxido de carbono del aire por fotosíntesis, pero es muy buen ejemplo del espíritu experimental y científico que renacía a fines del siglo XVI.

A mediados del pasado siglo ya se sabía que la planta toma elementos químicos del suelo y bióxido de carbono del aire; Bous-

singault demostró que aunque el aire contiene mucho nitrógeno la planta no puede utilizarlo y lo toma del suelo. Por esos años Liebig estableció la ley del mínimo según la cual el desarrollo de la planta depende del nutriente que se encuentre en la cantidad mínima en el suelo en relación con lo que la planta exige. Posteriormente esta ley se amplió para todos los factores que gobiernan la vida de la planta, al establecer Blackman que el desarrollo del vegetal está limitado por aquel factor que se encuentra al mínimo.

En efecto, si una planta crece en el suelo con cierta deficiencia de nitrógeno y fósforo y una fuerte deficiencia en agua, no se logrará mejorar su desarrollo aumentando los nutrientes sino, ante todo, elevando la cantidad de agua en el suelo pues ésta es su mayor carencia, su limitante. En realidad lo único que un agrobiólogo debe hacer para merecer su salario es aplicar la ley de los factores limitantes pues suprimiendo el limitante se elevará la producción del campo en un caso determinado y ésta es la función del agrónomo.

Desde luego, esto se dice fácilmente, pero no siempre es fácil hacerlo. El factor limitante puede ser conspicuo o tan escondido que ni siquiera se sospecha su existencia y tomará tiempo y esfuerzo descubrirlo; una vez identificado deberá ser suprimido o disminuido, lo cual puede ser difícil. Si el factor es imposible de cambiar en el campo, como una temperatura inadecuada para un cultivo, será preciso cambiar la variedad o aun la especie cultivada, pues si no se suprime el factor limitante —temperatura— toda fertilización, aumento de riesgos u otro esfuerzo será en vano.

Cuando un factor limitante se va cubriendo poco a poco por medio de insumos constantes y repetidos, la planta va normalizando paulatinamente su fisiología. Llegará el momento en que el factor ya no sea limitante y entonces ya no habrá respuesta fisiológica. La manera en que esto sucede es establecida por la ley de los retornos decrecientes, según la cual a cada insumo del factor li-

mitante se tiene un aumento en la respuesta —rendimiento, por ejemplo—, pero cada respuesta es menor a la anterior hasta que llega a ser cero, o sea, que ya no hay incremento en el desarrollo. Así, si se agrega una cantidad X de nitrógeno a un suelo pobre, se elevará el rendimiento quizá al doble; si se vuelve a adicionar la misma cantidad X de nitrógeno volverá a elevarse el rendimiento, pero bastante menos que la primera vez, y así sucesivamente hasta que ya no haya respuesta. Cuando se llega a este punto no se debe pensar que ya se tiene el rendimiento máximo; lo que sucede es que ahora el limitante es otro factor al cual habrá que ponerle remedio.

La ley de los retornos decrecientes tiene un valor general pues se observa en la respuesta de plantas, animales y hombre; y no tan sólo respecto a los nutrientes, sino a cualquier tipo de estímulo. Su importancia en biología aplicada es enorme pues permite predecir, entre otras cosas, el punto en que es económico aplicar un factor (nitrógeno, agua, etc.) con respecto al aumento en rendimiento consiguiente. La ley de los factores limitantes también tiene un valor general para todos los seres vivos y para sus diversas acciones. Ambas leyes norman el desarrollo biológico, en interacción con el medio ambiente expresado en forma matemática.

COMIENDO SUELO

Excepto por el oxígeno necesario para respirar y el bióxido de carbono preciso para hacer azúcar que son tomados del aire, la planta toma del suelo el agua y todos sus nutrientes minerales. Una planta necesita alrededor de 25 elementos químicos para hacer sus compuestos; cuatro o cinco de ellos los precisa en cantidades altas; otros en cantidades pequeñísimas. Sin embargo, cuando se dice que un elemento es esencial significa que la planta no puede vivir en su ausencia aunque lo necesite en proporción

de una décima de miligramo, por cada kilogramo de peso de la planta. Muy generalmente estos elementos aplican como fertilizantes foliares, mojando el follaje con una solución de ellos.

El elemento más importante por la cantidad en que se necesita es el nitrógeno. Lo que vive en el cuerpo de la planta es el protoplasma de sus células, el cual está formado por compuestos llamados proteínas que contienen nitrógeno. El nitrógeno del suelo no proviene de la disgregación de rocas, y excepto por cierta cantidad que se fija del aire al suelo por efecto de las tormentas eléctricas, así como por pequeñas cantidades fijadas por actividad de unas bacterias, todo el nitrógeno proviene de restos de seres vivos. Éstos son atacados por bacterias del suelo que los llevan hasta la forma química de nitrato, y así es como el nitrógeno se encuentra en el suelo.

Los nitratos son fracciones de moléculas llamadas iones que constan de nitrógeno y oxígeno. Las plantas absorben del suelo los iones nitrato pero van a formar proteínas y para ello deben separar el nitrógeno del oxígeno y juntarlo con hidrógeno para formar iones amonio; este proceso se denomina reducción del nitrógeno. Seguidamente el ion amonio se liga a un ácido para formar un aminoácido; las moléculas de proteína se constituyen por cientos de aminoácidos y constituyen la materia viva, así que las proteínas coloidales en agua son el asiento de los fenómenos que llamamos vida. Todo el proceso de síntesis proteica exige mucha energía para llevarse a cabo y es aquí donde la planta — que no se mueve ni mantiene estable su temperatura— invierte casi toda la energía de su respiración.

Hasta hace pocos años la síntesis de las proteínas permanecía en el misterio: se sabía cómo se deshacen pero no cómo se hacen. Los estudiosos de la fisiología animal habían ideado métodos para estudiar la digestión. El procedimiento es el siguiente: se ata una esponja a un cordel largo, se empapa en jugo de carne y se la hace tragar a un perro; minutos después se tira del cordel, se saca

la esponja y se analizan las sustancias que la impregnan. Otra variante: se hace tragar una esponja a un can, se la saca impregnada de jugo gástrico, se exprime sobre un succulento trozo de carne en un recipiente y se puede estudiar la digestión in vitro, o sea, fuera del organismo. Tercer procedimiento: se practica un orificio o fístula en el estómago de un perro y se le coloca un tapón; se alimenta al animal y cuando está digiriendo se quita el tapón y se drenan los productos de la digestión que pueden ser analizados sin problemas, y el can se queda sin su cena. Este tipo de experimentos y otros muchos peores explican por qué decidí dedicarme a la fisiología vegetal y no a la animal.

Justo es decir que la experimentación con animales ha sido necesaria para el avance de la fisiología humana. Muchas muertes y mucho dolor humano se han evitado por la labor de los científicos, sin duda muy lejos de sentimientos de crueldad, pero que juzgaban preciso —y lo era— conocer el funcionamiento del organismo. Por otra parte fueron experimentos efectivos y enseñaron que las grandes moléculas de proteína se rompen en otras más pequeñas llamadas polipéptidos; éstos se fraccionan en otras menores, las peptonas, y éstas se rompen al fin en aminoácidos.

Se postuló entonces que las proteínas se sintetizarían siguiendo el mismo camino pero al revés. Sin embargo esto no explica la singularidad y la unicidad del ser vivo: ¿cómo es que yo soy siempre yo, diferente de cualquier otra persona?, ¿cómo es que mi cuerpo es siempre fiel a su química aunque se reconstituya con diversos alimentos cada día? Si al digerir a las proteínas las desintegro hasta aminoácidos cabría esperar que al asimilar el alimento los aminoácidos se reunieran al azar y la química de mi cuerpo cambiaría de modo caprichoso. En todo caso sería más lógico que al comer chuletas se reconstituyeran proteínas de cerdo y al desayunar huevos se rehicieran las proteínas del huevo. No es así; mis proteínas son siempre las mismas, las mías; mi cuerpo es siempre fiel a sí mismo. Así pasa con las plantas: el frijol es frijol y el maíz es maíz: aunque crezcan sobre el mismo

suelo y aunque sus raíces absorban los mismos elementos químicos la química de sus cuerpos es diferente.

Este misterio empezó a develarse hasta hace unos treinta años. De modo muy sumario, sucede lo siguiente: dentro del núcleo de la célula van los cromosomas que son fibrillas o hilillos compuestos de una sustancia de nombre tan largo que se acostumbra nombrar por sus siglas: el ADN (ácido desoxi-ribo-nucleico); aquí van los mensajes bioquímicos. El ADN permanece en el interior del núcleo cubierto de influencias químicas exteriores y es el que da la permanencia química al individuo, planta o animal. Sus mensajes son llevados al protoplasma celular por un compuesto muy parecido, el ARN (ácido ribonucleico) que es el encargado de "ensartar" a los aminoácidos y hacerlos ordenarse en series definidas por el mensaje del ADN; así que aunque los aminoácidos provengan de proteínas del frijol o de la carne o del huevo, van a formarse en una serie prescrita por el ADN del individuo que los comió. El proceso se conoce con mucho detalle pero una exposición así queda para un texto de fisiología celular; sin embargo, se encontrará más sobre este tópico en el capítulo IV: El programa vital, "La información para la vida".

Cuando una planta o animal muere, su cadáver es desintegrado por bacterias y sus proteínas se descomponen en aminoácidos, los que prosiguen transformándose hasta llegar a compuestos nitrogenados que forman el humus o mantillo, "tierra de encino pa' las macetas" que aún gritan los vendedores, y el proceso de transformación se continúa hasta llegar a formarse nitratos. Éstos son tomados por nuevas plantas en desarrollo que necesitan hacer proteínas y que, a su vez, morirán en el futuro para repetir el ciclo. Si la planta es comida por un animal el proceso sería: planta (proteína)-animal (proteína)-cadáver-humus-nitrato-nueva planta, etc. "Polvo eres y en polvo te convertirás"; o expresado científicamente "devolverás tu nitrógeno al suelo, de donde vino".

El ciclo del nitrógeno tiene gran importancia en la agricultura y la

ecología. Si no regresa al suelo en cantidad igual a la que extrajeron las plantas; la tierra se ira empobreciendo en nitrógeno entonces la cubierta vegetal que pueda soportar será menor y así se irá acentuando la carencia del elemento hasta que el campo se convierta en un erial. Lo mismo puede decirse de los demás elementos pero el nitrógeno es el que las plantas tornan en mayor cantidad. En condiciones naturales las hojas de los árboles y las plantas que se secan yacen en el sitio en que nacieron y devuelven al suelo el nitrógeno extraído; pero cuando el hombre levanta una cosecha los elementos extraídos del suelo son llevados al mercado, ingeridos por el hombre y —en formas químicas y a través de lugares innumbrables— son drenados a los ríos. En países de desarrollo pobre e incierto o nulo, la población en desorbitado crecimiento obliga a extraer grandes cosechas y la pobreza cultural y económica impide fertilizar adecuadamente; la conjunción de ambos fenómenos es una firme promesa de hambre en el futuro.

COMEDORES DE AIRE Y COMEDORES DE PROTEÍNA

El aire contiene un 79% de nitrógeno, un 20% de oxígeno, 0.03% de bióxido de carbono y otros gases en cantidades menores. (Estas cifras no se aplican a la ciudad de México, desde luego). Cuando el aire entra a mi cuerpo el oxígeno se combina con ciertas moléculas y me sirve para respirar; los otros gases no encuentran con quién ligarse y salen como entraron; lo mismo sucede en los hongos. Las plantas verdes son más hábiles: se quedan con el oxígeno para respirar y con el bióxido de carbono para hacer azúcares por fotosíntesis; pero el nitrógeno entra y sale. Hay unos humildes seres unicelulares que si saben "enganchan" el nitrógeno del aire y se apoderan de él para hacer proteína; son unas bacterias que viven en la tierra.

Las bacterias que fijan el nitrógeno del aire al suelo se llaman

Azotobacter y Clostridium y no deben confundirse con las que transforman las proteínas a nitratos cuyos nombres son Nitrosomas y Nitrobacter. Las primeras enriquecen el suelo con nitrógeno del aire; las segundas solamente lo transforman químicamente. Las bacterias fijadoras de nitrógeno tienen un primo hermano que no vive en el suelo sino en las raíces de las leguminosas (alfalfa, frijol garbanzo etc), que son muy eficientes para fijar el nitrógeno del aire. Por esta razón dichos cultivos no agotan el nitrógeno del suelo; más aún, puede sembrarse una leguminosa; dejarla crecer hasta que esté próxima a florear y entonces cortarla e incorporarla al suelo aumentando así su contenido de nitrógeno pues todo el que existía en el cuerpo de la planta provenía del aire. Ésta es la técnica del abono verde y yo pude ver sus efectos en el desarrollo del trigo en un campo experimental donde; después de enterrar trébol (Melilotus) el cereal dio el doble de rendimiento que antes de hacerlo.

¿Por qué algunas células pueden utilizar solamente el oxígeno del aire, otras oxígeno y bióxido de carbono y otras el nitrógeno?

Las moléculas de los gases que forman el aire solamente pueden tomar parte en un proceso orgánico si reaccionan con una molécula del organismo, o sea que necesitan una molécula receptora a la cual "engancharse". Pero para que ello suceda necesitan levantar su nivel de energía para acoplarse al receptor. Las moléculas que proveen la energía, sin las cuales la vida sería imposible, se llaman enzimas. No dan energía solamente en procesos como la fotosíntesis o la respiración, sino en muchas otras transformaciones químicas; sin enzimas, la digestión, que ocurre en dos o tres horas aproximadamente, tomaría meses en ocurrir.

Los animales tenemos una enzima, la citocromooxidasa, que activa al oxígeno y nos permite respirar. Las plantas verdes tienen, además carboxidismutasa, que activa al bióxido de carbono para formar el azúcar. Las bacterias nitrogenantes del suelo poseen nitrogenasa, con la que activan al nitrógeno gaseoso, libre, del

aire, que es muy inerte de por sí y lo hacen reaccionar con moléculas de su cuerpo quedándose con él para hacer proteína. Y surge la pregunta: ¿por qué yo no tengo las enzimas carboxidismutasa y nitrogenasa? Si éste fuera el caso, al aspirar aire no obtendría tan sólo energía por la respiración, sino que haría azúcares y proteínas. ¡Habría resuelto mis problemas básicos!

La ciencia puede explicar por qué unas células son capaces de efectuar ciertas reacciones y otras no; podrá explicar por qué unas células han evolucionado hacia cierto destino y otras hacia otro; puede incluso decirnos el código que el ADN utiliza para ordenar que se forme tal o cual enzima. Pero a la pregunta trascendental de "¿por qué yo no y esa estúpida bacteria sí?", la ciencia no puede responder. Porque la ciencia es un sistema lógico que permite dar explicaciones a fenómenos concretos; cuando y en tanto los hechos observados estén de acuerdo con la explicación teórica diremos que tenemos una verdad científica, pero si los hechos pueden tener otra explicación más lógica o se descubren nuevos hechos, la verdad científica deja de ser operante. Las verdades científicas, aunque tengan muchas veces un valor general, son siempre temporales pues en principio están sujetas a revisión y son de orden diferente a las verdades incommovibles, eternas, a las que queremos asirnos en nuestros momentos de debilidad o desesperación.

Pero no hay que despreciar las verdades científicas: por pequeñas y perecederas que sean nos han traído de habitar en una cueva a vivir en una casa con el clima regulado. Y sobre el tópico de las enzimas nos han enseñado mucho. Sabemos cuál es la enzima responsable de la fijación del nitrógeno; sabemos cuál es el código —o sea el gene— con que el ADN ordena que la célula sintetice dicha enzima, y sabemos dónde se localiza dicho gene en la larga cadena de ADN. Con estos conocimientos se trabaja en los laboratorios de ingeniería genética para implementar el gene de fijación del nitrógeno en las gramíneas para tener patizales muy productivos que no habría que fertilizar. ¿Y los cereales? ¿Cuán-

tos miles de millones de pesos se gastan para añadir nitrógeno a los campos de trigo, maíz y arroz?

Se dirá, ¿y por qué no implantar el gene de las leguminosas en mis células para aprovechar directamente el nitrógeno del aire? Por simple que parezca un proceso químico celular exige un complicadísimo sistema de moléculas que acepten ser oxidadas o reducidas que reaccionen entre sí; debe haber también enzimas y transportadores de energía, etc. Nuestro organismo difiere tanto del de una planta que sería del todo insuficiente adicionar una enzima para cambiar todo el proceso pues la enzima carecería del equipo bioquímico que posibilita su acción.

Somos, y seguiremos siendo, comedores de proteína. La proteína está en todo ser vivo y si comemos cerdo y no ratones o si preferimos carne a frijoles es cuestión de gusto. El problema del alimento proteico se ha vuelto serio y se ha pensado en resolverlo acudiendo a fuentes poco usuales pero capaces de proporcionarlo, como los insectos. En realidad, en casi todos los países se consumen algunos tipos de alimentos que horrorizan a los americanos, consumidores irredimibles del músculo de res en su forma más primitiva, simplemente asado. En México siempre se han consumido diversos insectos, quizá más como delikatessen, antojo o botana que como alimento serio; pero de ser necesario podrían ser parte importante de la dieta por su valor nutricional y su bajo costo de cría; son bien conocidos los gusanos de maguey, "chapulines" o saltamontes, algunas especies de hormigas "miele-ras", etc., pero existen muchísimos otros que son también consumidos; un catálogo muy amplio lo presenta Julieta Ramos de Conconi en: Los insectos como fuente de proteínas en el futuro (Editorial Limusa).

Como en el caso del cultivo y consumo de algas considerado en el capítulo I, la necesidad de llegar al extremo indeseable para muchos de comer grillos al jerez o cucarachas en salsa blanca ha quedado en suspenso temporalmente por el desarrollo de nuevas

técnicas de cultivo en el campo y en ambiente controlado. El cultivo en condiciones de total control incluye la manipulación de los factores de clima (luz y temperatura) y del suelo; de hecho el suelo no existe, pues es sustituido por una solución nutritiva que contiene todos los elementos necesarios para la vida de la planta en cantidades suficientes y equilibradas. Como ya se dijo, en estas circunstancias los rendimientos son muy superiores a los obtenidos en el campo.

LAS MOLÉCULAS DEL ENSUEÑO

Además de las proteínas, hay otros compuestos que llevan nitrógeno en su molécula: son los alcaloides. Por desconocer su papel en la planta y dado que es natural al hombre juzgar que lo que no conoce o entiende no sirve para nada, se supuso que los alcaloides son productos de desintegración de las proteínas y meras sustancias catabólicas, o sea simples desechos. Ahora se ha rectificado este juicio al menos en algunos casos. Y por otra parte, sea cual fuere la función que los alcaloides tengan en el organismo vegetal que los produce, su acción en el organismo animal es importante.

Muchos alcaloides se conocen de antiguo: las propiedades de la amapola adormidera eran conocidas por los asirios, y el médico y botánico griego Dioscórides describió en el siglo I al opio compuesto que se encuentra en los frutos verdes de la amapola y que tiene entre sus componentes a la morfina. Este alcaloide es un poderoso relajante del sistema nervioso, pues bloquea el dolor. Éste es su principal uso en la medicina, pero también bloquea otros centros de la porción del cerebro llamada hipotálamo, produciendo un estado de sueño anestésico.

El hipotálamo es un órgano cerebral de gran importancia: es el centro de sensaciones como sed, hambre, los impulsos sexuales y la ira; además, liga al sistema nervioso con el sistema hormonal,

es decir, enlaza los centros de donde parten los mensajes nerviosos con los centros de mensajes hormonales coordinando así muchas actividades orgánicas. La morfina efectúa su acción adhiriéndose a lugares determinados (receptores) de las células nerviosas, y es muy interesante que el hipotálamo sintetice sustancias de estructura química parecida a la morfina; tales son las endorfinas que se adhieren a los mismos receptores que la morfina, de manera que el organismo lleva en sí mismo un sistema de bloqueo al dolor y relajamiento a la fatiga.

Es curioso que el organismo animal responda a compuestos químicos hechos por organismos tan diferentes como lo son las plantas superiores; en realidad, aunque el hecho es bien conocido se ignora su causalidad o determinismo. Una hipótesis atractiva con apoyos en la observación es la siguiente: los seres muy primitivos, unicelulares todos ellos, desarrollaron la habilidad de sintetizar moléculas con las que se comunicaban entre sí; sustancias de este tipo se han encontrado de hecho en seres unicelulares y en los interesantes bichos llamados mixomicetos, que son en una etapa de su vida amibas y en otros conjuntos celulares como hongos, y aun en los insectos cuyas feromonas son atractivos sexuales que actúan a través de kilómetros de distancia (un vistazo al papel de las sustancias de comunicación en los mixomicetos se encuentra en el profundo y regocijante libro *The Center of Life* escrito por L. Cudmore, Time Books). Millones de años de evolución dieron por resultado la formación de grupos muy diferentes de organismos separados en las grandes ramas de animales superiores y vegetales superiores, culminación de una larguísima evolución divergente. Pero las moléculas que se formaban en los seres primigenios aún se forman, pues en cierto sentido los genes son eternos e inmutables, y si por su estructura general el organismo que las produce ya no responde a dichas moléculas —lo que no está demostrado— sí evocan respuestas en el organismo animal (véase la revista *The Sciences*, mayo-junio de 1987).

Algunas de estas moléculas tienen propiedades analgésicas y

somníferas, pero hay otras que provocan estados de alucinación en los que el cerebro evoca imágenes y colores de gran belleza y un estado general indescriptible de sublimación de los sentidos y de la personalidad. Por ello es que los hombres de muy diversas culturas han consumido o aún consumen el peyote y los hongos alucinógenos, en reuniones místicas y siguiendo rituales sagrados para penetrar en el mundo de los dioses y tomar contacto con la realidad profunda de las cosas.

El hombre es un animal de ideales: quiere conocer, quiere trascender, llegar más allá, ser algo más: ésa es su grandeza, fallar en la empresa es su miseria. Incluso pueblos que tachamos de primitivos guardan este anhelo de comprensión total, de inmersión en el infinito y usan los alucinógenos respetuosamente, religiosamente (véase Los dos nacimientos de Dionisios por R. Graves, editado por Seix Barral). Ha quedado para nuestra época, en que el éxito ha coronado a la rebelión de las masas que temiera Ortega y Gasset y ha propiciado la aparición de una numerosa clase media rica en dinero y pobrísima en cultura moral e intelectual, el convertir los alucinógenos en una diversión de la lumpen-cultura característica de esta clase. La idiotez siempre paga un precio; en este caso es la locura, el vacío mental y el suicidio.

Porque ensoñar el ideal debe ser cosa seria y fracasar en la realidad soñada puede ser terrible. Yo no he experimentado con drogas alucinógenas pero sé que todo hombre lleva dentro de sí "alucinógenos" que lo hacen aspirar a grandes empresas, a soñar en mundos de belleza y de justicia, a querer realizar fantasías irrealizables. Será sin duda un espíritu muy árido quien no haya sentido alguna vez un "dulce soñar y dulce congojarme / cuando estaba soñando que soñaba / dulce gozar con lo que me engañaba / si un poco más durara el engañarme ". ¹

¹ Soneto de Juan Boscán (siglo XVI)

III. LA REGULACIÓN DE LA VIDA

LOS MENSAJEROS QUÍMICOS

UNA fuente perenne de regocijo para quienes aman la controversia es la cuestión de quién fue el primero que encontró tal cosa o que anunció tal concepto científico. Siempre que alguien asienta: "Fulano fue el primero en afirmar que...", alguien más arguye: "Pero ya antes Perengano había escrito que..." Pues bien, algunos afirman que Starling y Bayliss encontraron por primera vez pruebas de que el organismo envía mensajes por medios químicos de uno a otro órgano y dieron a los mensajeros el nombre de hormonas. Otros sostienen que el primero en plantear el concepto, aunque no el nombre de hormonas, fue Brown-Séguard.

Sin disputar precedencias digamos que a principios de este siglo se planteó en biología el problema de la coordinación del organismo por medio de productos químicos fabricados en alguna glándula, los que van a ejercer su acción en otra glándula o tejido del organismo. Un ejemplo bien conocido y de gran importancia es la insulina. Cuando se comen muchos azúcares o almidón, sube el nivel de glucosa en la sangre; de inmediato unas células del páncreas empiezan a fabricar insulina, hormona que va al hígado y lo estimula para convertir la glucosa en glucógeno de modo que el nivel de glucosa en la sangre se estabilice sin pasar de cierto límite. Cuando no se produce insulina se declara diabetes, que es una enfermedad muy seria.

Hacia 1925 se empezó a sospechar que el organismo vegetal también tiene una coordinación química; de hecho, esa coordinación es el único sistema de intercomunicación que tienen los vegetales, pues carecen de sistema nervioso, el que desempeña un papel tan importante en el organismo de los animales. Las primeras hormonas vegetales que se estudiaron fueron las llamadas

auxinas; la acción que primero se les reconoció fue la de estimular el alargamiento de las células, que determina el crecimiento de la planta. También determinan el crecimiento direccional o tropismo: la luz destruye a las auxinas, de modo que si la planta se ilumina por un lado solamente, las células iluminadas van a carecer de auxinas y no se alargarán en tanto que las de lado sombrío sí lo harán; a consecuencia se producirá un crecimiento desigual, mayor en el lado oscuro, que hará que la planta muestre fototropismo o crecimiento hacia la luz. La demostración de la explicación teórica expuesta se efectuó mediante diversos experimentos que culminaron con el aislamiento y posterior identificación química de la principal auxina: el ácido indolacético. Estos experimentos acabaron con uno de los caballos de batalla de los vitalistas; quienes sostenían que las plantas crecen hacia la luz porque la necesitan para vivir —lo cual es cierto— por lo que su "fuerza vital" las hace buscarla— lo cual no es la explicación verdadera.

Las auxinas tienen, además, otros importantes efectos. Uno de ellos es activar la respiración elevando la energía utilizable por el organismo. También estimulan el proceso de diferenciación celular promoviendo el cambio de las células del embrión, todas iguales entre sí, para formar los tejidos y órganos que tienen el cuerpo de la planta.

Algunos años después de conocer las auxinas se conocieron las giberelinas. Éste es un numeroso grupo de hormonas que llevan mensajes relativos a la floración de la planta y que de modo no bien conocido y sin duda complicado interaccionan con otros factores para hacer que los árboles entren en letargo en otoño tardío y se activen en la primavera, acomodándose al ritmo estacional. En este acomodamiento hay una interacción con las abscisinas, hormonas que tienen relativamente poco tiempo de conocerse, que intervienen para hacer caer las hojas de otoño y luego mantienen a las yemas del árbol en letargo durante el invierno para que no mate el frío a los retoños por una brotación extempo-

ránea. En igual forma las abscisinas causan el letargo de las semillas previniendo que los embriones inicien el desarrollo a fines de la época de calor o lluvia pues entonces el frío o la sequía matarían a la plantita que estaría demasiado pequeña para resistir el embate del clima; gracias a las abscisinas los embriones quedan dormidos hasta el regreso del buen tiempo —calor o lluvia—, que permitirá a la planta desarrollarse durante varios meses antes de que sobrevenga de nuevo el tiempo difícil.

Las citocininas son hormonas que promueven la división celular y en general causan un estado juvenil en la planta. Es una lástima que no actúen en los animales pues algunos podríamos usarlas.

Extrañamente, una molécula tan sencilla como el etileno tiene funciones hormonales, y entre otras cosas promueve la maduración de los frutos. El aforismo "una manzana podrida echa a perder la canasta tiene como base una observación real: los frutos sobremadurados forman y despiden etileno que penetra en los frutos cercanos y acelera su maduración.

Gracias a las hormonas que traen y llevan mensajes, la planta no es un conjunto de órganos autónomos sino un todo concertado, un sistema orgánico.

UN SISTEMA REGULADO

Las plantas sienten los cambios del ambiente, responden a ellos y se adaptan; y más les vale, pues ellas no pueden ir a pasar el invierno en la playa, y si no se adaptan, perecen. El agricultor siempre ha sabido esto, pero hasta hace poco tiempo no sabía nada más. Cuando los españoles vinieron a México, algunos deben haber traído semillas de manzano y al cabo del tiempo se dieron cuenta de que donde no hace frío en invierno el manzano no florece, ni da fruto aunque el árbol puede seguir con vida y crecer. El efecto invierno frío-floración del manzano obligó a

poner los huertos de estos árboles y de otros pomáceos y drupáceos (peral, ciruelo, etc.) arriba de las altas sierras del centro de México; aun en el norte del país los huertos de manzano se encuentran en los valles altos y no en las partes bajas.

Todas las plantas "saben" cuándo hay luz y aprovechan su energía por medio de la clorofila que las capacita para hacer azúcar por fotosíntesis. Pero muchas plantas "saben" además si reciben muchas o pocas horas de luz y responden a ella. Cuando el frijol de soya recibe muchas horas de luz al día la floración se hace tardía en extremo, y cuando los días son cortos florece en muy corto tiempo. En cambio el lúpulo exige días con muchas horas de luz para florear y si no las recibe queda en estado vegetativo; por eso en los países intertropicales, donde todos los días del año tienen las mismas horas de luz y no son muchas (aproximadamente 12 en lugar de 16 o más en verano en Europa) no se puede cultivar lúpulo y las fábricas de cerveza, esa bienhechora bebida, deben importarlo de países con largos días veraniegos.

Para sentir la luz la planta debe tener una molécula fotorreceptora. Los estudios han puesto en claro que la clorofila es la que convierte la luz en azúcar, por así decirlo; pero es otra molécula, el fitocromo, la que convierte la luz en flor. En realidad el fitocromo solamente percibe la luz absorbiendo la energía de los fotones y lo que hace que se desarrollen las flores son las enzimas. Por tanto, entre fitocromo y enzimas debe existir una manera de relacionarse, un lazo de unión, un mensajero. Eso es precisamente lo que son las hormonas: intermediarios que ligan al receptor del estímulo con la molécula efectora. Ahora ya se tiene el cuadro completo:

Estímulo (luz) → receptor (fitocromo) → intermediarios (hormonas) → efector (enzimas) → respuesta (flor).

Las hormonas transmiten el mensaje actuando sobre el ADN o el ARN reprimiendo o liberando los mensajes de los genes que son los que ordenan "hágase tal o cual enzima", como se explicó en el capítulo II.

Pero las hormonas no solamente pasan el mensaje sino que regulan el proceso. Hay diversas maneras de autorregulación. Las auxinas estimulan diversos procesos cuando están presentes en bajas concentraciones pero los deprimen en altas concentraciones, así que al acumularse frenan su acción por sí mismas. En otros casos la presencia de una hormona desencadena la acción de otra hormona de acción contraria y en otras ocasiones, en cambio, de acción complementaria. También existe autoregulación a nivel de las enzimas. De esta manera el organismo vegetal, lo mismo que el animal, controla sus procesos y funciones y guarda su equilibrio autorregulando la producción de las moléculas intermediarias (hormonas) y efectoras (enzimas).

Sin embargo, puede ocurrir que por desviaciones del clima o por alguna otra causa falle la regulación orgánica y entonces se produzcan desviaciones del desarrollo normal, de modo que una planta florecerá a destiempo, o fallará en formar fruto, o los frutos caerán antes de madurar, o algún otro tipo de desarrollo anormal; así pasa con algunos árboles de hoja caediza cuyas ramas, cuando no hay frío en invierno o no reciben muchas horas de luz en primavera, crecen pero no se cubren de hojas sino que quedan desnudas excepto por unas pocas hojas que se desarrollan en las puntas de las ramas.

UN SISTEMA SENSIBLE

Han pasado muchos años desde ese día pero nunca olvidaré la experiencia que nos hizo sufrir un profesor de fisiología vegetal. Nos detuvo junto a una frondosa planta de sensitiva o vergonzosa (*Mimosa pudica*) y encendiendo un largo fósforo lo acercó a la

punta de una hoja grande (las hojas de las mimosas y acacias están compuestas por numerosas "hojitas" o folíolos a lo largo de la nervadura central) manteniéndolo cierto tiempo. Los folíolos empezaron a retraerse y cerrarse pero lo curioso es que el estímulo se fue corriendo a lo largo de la hoja, de la punta lastimada a la base, de manera que la retracción de los folíolos causó que toda la hoja se inclinara lentamente dando una total impresión de un brazo retrayéndose de dolor. Se me erizó el pelo y casi oí gritar a la planta. Ya había visto yo, muchas veces, la respuesta de la sensitiva al tocarle los folíolos pero jamás había visto su reacción a un estímulo intenso y prolongado; estoy seguro de que las plantas no sienten dolor pues carecen de receptores y de células nerviosas, pero aun así, no me gustaría repetir la experiencia.

Este tipo de movimientos se llaman nastias. En el caso de estímulos mecánicos o térmicos la sensitiva los recibe en unas estructuras en la base de los folíolos llamados pulvini y se propaga a los demás folíolos no excitados directamente por medio de una sustancia estimulante que se sintetiza con gran rapidez; queda mucho por conocer sobre este proceso. La respuesta de cierre de los folíolos en la oscuridad que ocurre en muchas plantas también se siente en los pulvini y se debe a la súbita entrada y salida del agua, o sea a la turgencia de las células de dichas estructuras, pero el mecanismo que liga la recepción de la luz con la respuesta de la célula no se conoce bien aunque se sabe que tiene que ver con la distribución de las sales (iones) de potasio y de cloro.

Todas las plantas muestran un crecimiento direccional hacia la luz, o fototropismo, cuya causa es una distribución desigual de la auxina, según se dijo en el apartado anterior. El crecimiento de la raíz hacia el centro de la Tierra o geotropismo es explicado también por la acción auxínica. Estos tipos de crecimiento hacen que la planta se mueva hacia algo en el sentido de que crece dirigiéndose a un punto del espacio determinado.

El desigual crecimiento del tallo es también responsable de que

algunas plantas, como los girasoles, muevan sus flores o inflorescencias según la posición del Sol. Causa similar tienen los movimientos de las hojas de muchas especies, como el frijol, que cuando la irradiación solar es muy fuerte cambian de posición al mediodía de modo que presentan los bordes al Sol para evitar que los rayos solares incidan de plano sobre la superficie foliar.

En relación con los movimientos vegetales, son muy curiosos los que presentan las plantas insectívoras. Hay variantes según las especies, pero en general se trata de sistema de pelillos disparadores que al ser tocados por un insecto hacen que la hoja se cierre bruscamente, reteniendo al insecto al mismo tiempo que entran en acción unas células secretoras de enzimas que digieren al infeliz bicho. Al revés de los movimientos relativamente lentos de la mimosa, que están mediados por estímulos químicos hormonales, el rápido cierre de las hojas carnívoras parece depender de potenciales bioeléctricos que son producidos por los disparadores de tipo neuroide pero de muy diferente evolución a los que se desarrollaron en los animales.

No hay duda de que las plantas son sensibles a muchos más estímulos de los que supone la mayoría de la gente y dan lugar a fenómenos muy curiosos que aún no entendemos por completo. Pero no hay que sobrepasarse; hace varios años fue una moda el tratar a las plantas como si fuesen perros. Se dijo que responden a la música y que les gusta más Mozart que el rock, lo cual es digno de aplauso, pero la verdad es que las plantas no tienen receptores para los sonidos. Algunas personas se dejaron llevar por el entusiasmo en tal forma que llegaron a asegurar que las plantas adivinan el pensamiento, de modo que si me aproximaba a un rosal con la aviesa intención de romperle las ramas se marchita de miedo antes de que lo toque. Ojalá fuese así pues entonces el combate contra las malezas sería fácil, barato y sin problemas de contaminación: bastaría mirarlas, con odio o quizá gruñirles un poco para deshacerse de ellas.

Lo que conocemos sobre la sensibilidad de las plantas es suficientemente interesante y encierra bastantes misterios para mantener ocupados a los científicos durante años por venir. No compliquemos las cosas con hipótesis indemostrables o fuera de toda lógica científica como las que se presentan en el libro *La vida secreta de las plantas* de Tempkins y Bird (Editorial Diana) que es un entreverado de hechos científicos con fantasías y absurdos. La planta es un sistema sensible, cierto, pero no es material para ser estudiado por los psicoanalistas. Así que:

Riega, poda y fertiliza
con cuidado a tu rosal
Pero no pierdas el tiempo
en darle algún recital.

UN SISTEMA PREVISOR

En los climas subtropicales el campo es el mismo tanto en verano como en invierno. Tanto es así que en algunos países llaman invierno a la estación lluviosa y verano a la seca, lo cual es un ejemplo de cómo el hombre, tras inventar el lenguaje para entenderse, lo usa para no entenderse. En los climas templados el invierno presenta un paisaje muy diferente al de verano: árboles y arbustos están desnudos, las plantas herbáceas son escasas y de especies diferentes a las del verano.

La planta es un sistema previsor que sabe cuándo viene el invierno y se prepara adaptando su cuerpo a las nuevas condiciones. No es que la planta tenga poderes de adivinación, sino que los mecanismos evolutivos actuando a través de millones de años con la consigna "adaptación o desaparición" han permitido sobrevivir solamente a los individuos con mecanismos adaptativos.

Un árbol de manzano es un buen ejemplo. En la primavera y

principios del verano los días son largos y la temperatura cálida. Al influjo de estos factores el manzano produce hormonas, sobre todo giberelinas, que lo llevan a crecer y a dar nuevas ramas y hojas. Conforme el verano se acerca a su final y entra el otoño los días se acortan; antes de que se presente el frío el manzano sabe que el invierno se aproxima por el acortamiento de los días que registra gracias al fitocromo. Entonces disminuye la síntesis de hormonas y en cambio empieza a fabricar inhibidores del tipo de las abscisinas; al elevarse la concentración de éstas en las hojas empiezan a aparecer hermosos colores del follaje otoñal; dorado, rojo violeta... luego, al empezar el invierno, estas mismas abscisinas harán caer las hojas.

Por otra parte, la abscisina concentrada en las yemas las mantiene en letargo, de manera que aunque a mediados de enero o febrero ocurran varios días seguidos con temperaturas altas las yemas no brotan —lo que significaría la muerte de los botones florales al volver el frío normal— sino que permanecen dormidas. Solamente cuando la yema ha sufrido el paso de muchas horas de frío la abscisina desaparece y la yema está lista para brotar. Al llegar la primavera con los días cada vez más largos y cálidos, el árbol vuelve a sintetizar giberelinas y otras hormonas, se cubre de flores y reanuda su vida activa.

En condiciones naturales las manzanas maduras caerían al suelo donde irían siendo consumidas lentamente por insectos y hongos; de tal modo, las semillas quedarían libres en el suelo a mediados de otoño cuando hay humedad y temperatura adecuadas para germinar. Pero si así lo hicieran apenas estarían naciendo los arbolitos cuando las nieves del invierno y la congelación de las capas de agua superficiales los mataría. No es así, porque las semillas tienen sustancias inhibidoras que impiden la germinación; solamente el paso del frío invernal las saca de su letargo quedando listas para germinar. Esto sucede en primavera cuando las lluvias, el agua de deshielo y el calor permiten el desarrollo del embrión, así que el arbolito va a tener todo un año para crecer

y establecerse antes del siguiente invierno.

Existen muchas otras especies de plantas previsoras y no todas se adaptan de la misma manera. Por otra parte el hombre ha manipulado a las plantas desde que se inventó la agricultura y ha encontrado de modo fortuito o planeado la manera de modificar el desarrollo de un gran número de especies. El trigo brinda un ejemplo de ello.

El hábitat primario del trigo fueron las mesetas de lo que hoy es Turquía central, donde hay un marcado contraste en las horas diarias de luz y en la temperatura entre el verano y el invierno. La planta de trigo se adaptó a esas condiciones de la manera siguiente. Los granos se forman y llenan durante el verano y caen al suelo a principios del otoño. Como aún no hace mucho frío, germinan con las lluvias otoñales y las plantitas empiezan a crecer con lentitud porque la temperatura es cada día más baja. Cuando tienen el tamaño de pasto de jardín llegan las primeras nevadas y quedan cubiertas por la nieve durante dos o tres meses; no mueren, por el contrario su fisiología exige ese estímulo de frío para que la planta pueda proseguir su desarrollo. Al venir el deshielo, con la humedad y el relativo calor las plantas reinician su desarrollo, macollan y alargan sus tallos. Conforme avanza la primavera los días son cada vez más largos, y por influencia de las largas horas de luz se forman espigas con sus flores; luego viene la fecundación y, de nuevo, la formación de los granos. La planta de trigo está de tal modo adaptada al ciclo climático anual que no da tallos secundarios (macollaje) si no sufre días fríos y no forma espigas si no recibe muchas horas de luz al día. El tipo de trigo descrito se denomina de hábito invernal y no puede desarrollarse en climas donde el invierno es excesivamente largo y crudo ni en países tropicales, sin invierno, excepto en lo alto de las montañas donde la altitud compensa la latitud.

Al practicar la agricultura el hombre encontró, primero de modo empírico y ahora en programas de mejoramiento planeados, indi-

viduos con los genes de respuesta al frío reprimidos. Estos individuos, que perecerían en lugares con clima similar al del hogar ancestral de la especie, son aprovechados para formar variedades que se cultivan durante la primavera en países donde el invierno es muy crudo como Canadá o bien para cultivarse en invierno casi a nivel del trópico, como el norte de México, ya que ahí el invierno no es muy frío. Estos trigos se denominan de hábito vernal.

En su largo contacto con las plantas el hombre aprendió a manipularlas. Las poda, las injerta, las trasplanta; en realidad todas estas técnicas son maneras empíricas, artesanales, de modificar la fisiología de la planta suprimiendo tejidos productores de hormonas y enzimas o estimulando la secreción de ellas. Ahora empezamos a conocer los factores fisiológicos y químicos que gobiernan el desarrollo, como las hormonas. Ya existen en el mercado productos que estimulan el enraizamiento de las estacas de árboles frutales y de ornato o que hacen que las plantas retengan mejor las flores y los frutos evitando su caída excesiva o que llevan a los frutos a madurar con mayor rapidez y tener mejor calidad. Muchos aspectos del desarrollo y de la productividad de las plantas han sido modificados, con mayor o menor éxito, por el uso de hormonas y fitoreguladores. El control del desarrollo vegetal por aplicación de hormonas es una tecnología nueva que aún presenta muchas incógnitas pero que ya está en servicio de una gran empresa: producir más alimentos para un número creciente de gente con hambre.

El uso de fitohormonas en la agricultura ha sido atacado por los ambientalistas y supuestos defensores de la limpieza del medio ambiente y de la producción natural de alimentos. Estas personas deberían considerar, en primer lugar, que la manipulación física y la química en muchos casos son fundamentalmente la misma: para la maduración más rápida de muchos frutos, éstos se envuelven en papel, lo cual evita que el etileno formado por el fruto se disperse en el aire, creando una microatmósfera con etileno

que favorece los cambios de maduración; si en lugar de ello yo aplico al fruto un producto que se absorbe y se rompe generando etileno en su interior, ¿qué hago sino favorecer un proceso natural? La auxina es la hormona que induce la formación de raíces de manera natural; si a una estaca de manzano le aplico auxina para que enraice con mayor rapidez, ¿en qué contravengo a los procesos naturales?

Por otra parte, al arremeter contra el uso de agroquímicos los ambientalistas no consideran cómo podrían alimentarse los millones de personas en el mundo, ya que la producción creciente de alimentos está condicionada por el uso de fertilizantes, plaguicidas y productos similares. Precisamente la mejor manera de salvaguardar lo que aún nos queda de selvas y hábitats naturales radica en incrementar la producción de las tierras agrícolas para evitar la apertura al cultivo de lugares aún no explotados. Debería ser éste un razonamiento obvio; pero nada es obvio para quienes han llenado su mente de ideas preconcebidas y su ánimo de fobias irracionales. Porque para algunas de estas personas la "ecología" es una religión y convencerlas del uso de agroquímicos es tan frustrante como tratar de convencer a un testigo de Jehová de la utilidad de las transfusiones de sangre: la Biblia prohíbe la ingestión de sangre, por tanto no puede ser buena si va contra el mandato explícito de Jehová; así también, los productos agroquímicos no son moléculas hechas por la naturaleza, por tanto son nocivas, son "contaminantes", del medio ambiente.

En honor a la verdad, la lucha de los ecologistas por mantener las condiciones naturales ha repercutido en la prohibición del uso de varios productos verdaderamente peligrosos por su gran estabilidad o efecto residual o por su alta toxicidad; estos productos se han sustituido por otros menos tóxicos y de más fácil descomposición o degradación. He trabajado personalmente en el control químico de las malezas y en la aplicación agrícola de las hormonas vegetales y espero que mis experimentos hayan sido una ayuda en la producción de alimentos, tarea que juzgo de gran

importancia para México. Por ello, algunos ambientalistas a ultranza me certificarán como envenenador público; pero creo que los ecólogos serios estarán de acuerdo en equilibrar las necesidades y luchar por tener alimentos y tenerlos sanos.

IV. EL PROGRAMA VITAL

"VED LA SEMILLA DE MOSTAZA..."

UNA parábola evangélica invita a considerar como una pequeñísima semilla se transforma en un arbusto donde anidan los pájaros. Es un hecho maravilloso y vale la pena considerarlo con cierto cuidado.

El cuerpo de la planta de mostaza, como el de toda otra planta o animal, viene de una célula, oosfera en las plantas y óvulo en los animales, que en el hombre mide menos de medio milímetro. Cuando la oosfera o el óvulo son fecundados empiezan a dividirse una y otra vez hasta formar un cuerpo cuyo peso puede ser de muchos kilogramos. En este proceso de desarrollo del individuo ocurren dos fenómenos diferentes pero simultáneos: el crecimiento y la diferenciación.

El óvulo fecundado se divide en dos células que crecen al tamaño de la célula madre, dividiéndose luego para dar cuatro células que crecen al tamaño de la madre y se vuelven a dividir y crecer, y así una vez tras otra. Quien crea que este proceso de duplicación es muy lento para formar el cuerpo de un elefante con miles de millones de células; deberá releer la anécdota atribuida al inventor del ajedrez que pidió como premio que en cada casilla del tablero se duplicara el número de granos de trigo de la casilla anterior empezando con uno... y no pudo hacerse ni aun dándole todo el

trigo del reino. Este fenómeno da por resultado el aumento en tamaño y peso del individuo, lo cual se denomina, estrictamente, crecimiento. Si siempre estuviéramos en crecimiento, nuestro cuerpo sería una masa de células iguales entre sí. Tal es el caso de las algas, hongos y esponjas, pero en los animales y plantas superiores las células que forman el cuerpo han seguido diferentes destinos: unas tienen gruesas paredes y dan firmeza al cuerpo del vegetal, otras poseen cloroplastos o plastos fabricantes de almidón (amiloplastos) y fabrican los alimentos básicos, otras son muertas, huecas, y se unen unas a otras formando tuberías por donde discurre el agua y las sales del suelo, etc. Lo mismo ocurre en el animal, aunque, por supuesto, las formas y funciones de las células —los tejidos celulares— son diferentes. Este fenómeno de diversificación y especialización celular se denomina diferenciación.

Tanto en vegetales como en animales las células, además de diferenciarse y especializarse, se organizan entre sí para dar un todo integrado y armónico: un individuo. El problema de la forma del ser vivo es bastante misterioso aún. El óvulo de una jirafa, un fresno o una muchacha hermosa es una célula esférica; a partir de ella irá tomando forma un animal o planta con un cuerpo determinado, invariable en sus rasgos fundamentales aunque las condiciones del medio varíen. Por cierto, es un cuerpo adaptable a las circunstancias por medio de pequeñas variaciones pero no pierde sus características y su forma básica. Es una buena lección ésta de saber adaptarse para sobrevivir, sin por ello perder la autenticidad orgánica fundamental

¿Cómo es que de una célula esférica surge un cocodrilo y de otra célula al parecer casi idéntica se forma una reina de belleza? Es el plano de división de las células el que va conformando el cuerpo del individuo: si las células se dividen siempre en un plano formarán una cinta, si lo hacen en dos planos originarán una superficie y si se dividen en tres planos se formará un volumen, un cuerpo tridimensional. De modo que para formar una nariz las

células sufren tantas divisiones en esta dirección ahora tantas otras en dirección diferente, como las señoras cuando tejen diez puntadas a la derecha, cinco en reversa... pero operando en las tres dimensiones del espacio.

Pero ¿quién y cómo ordena a las células la posición del plano de división, los cambios de dirección y ritmo? En principio, los genes. Todos sabemos que de una gata nacen gatitos y de las semillas del nogal surgen nogalitos; las órdenes son hereditarias y van en las largas fibrillas de ADN que se rodean de cromatina formando los cromosomas, que se alojan en el interior del núcleo celular. Tenemos, plantas y animales, dos juegos de cromosomas: uno ha venido del padre y el otro de la madre, de modo que para cada característica tenemos dos genes o sea dos oportunidades, dos caminos de diferenciación, lo que es un seguro para el correcto desarrollo. Pero además de las órdenes genéticas en el destino que siga una célula influyen los mensajes químicos que reciba de las células vecinas cuando aún es muy "infantil". Los experimentos de los embriólogos han demostrado que si bien cada célula lleva, en principio, la posibilidad de formar cualquier tipo de tejido y estructura celular, su destino de hecho está normado por las relaciones con las células vecinas, de modo que la mayoría de sus posibilidades quedan reprimidas y solamente unas pocas se hacen realidad (véase el apartado "Información para la vida" en este mismo capítulo).

PAREJAS... PAREJAS... PAREJAS

En la cultura occidental regalar una flor siempre ha significado que se ama a la persona a quien se da. El amante lleva flores a la amada, y qué bien que sea así, pues además de hermosa y poética una flor es el órgano sexual de la planta, así que el simbolismo es más profundo, aunque esto quizá parezca poco delicado a los románticos ñoños (¿quedarán aún ejemplares?).

Si se mira con atención una flor se verán unos filamentos con una cabecita generalmente amarilla; son los estambres, forman el aparato sexual masculino y en las cabecitas se encierra el polen, células que llevan el gameto masculino y que forman un polvo amarillo. Como las personas, las flores pueden ser unisexuales o bisexuales, así que puede ser en otra flor diferente, o en la misma que lleva los estambres, donde se encuentre un filamento casi siempre más largo que ellos —a veces más corto—, sin cabeza amarilla y el cual parte de una esferita que hay en su base; es el pistilo u órgano sexual femenino y la esferita es el ovario que contiene los óvulos, estructuras en que, a su vez, se encuentra la oosfera o gameto femenino.

El polen puede caer sobre el pistilo de la misma flor, ocurriendo una autofecundación, o ir a parar a otra flor llevado por el viento o por insectos. Al caer sobre el pistilo se hincha con la humedad del ambiente y al romperse la cubierta deja escapar una célula con dos núcleos, uno vegetativo y otro germinativo que es el gameto masculino. Entonces esta célula empieza a labrarse un túnel a lo largo del pistilo; va comiendo los tejidos y horadando su camino en busca del óvulo. Para que esto suceda el pistilo debe "dar el sí" y dejarse comer: por ejemplo, si un grano de polen de una especie, pongamos por caso el huizache (Acacia), cae sobre un pistilo de otra especie, por ejemplo de naranjo, no hay compatibilidad química, el pistilo no se deja comer y el polen muere.

Si el pistilo es receptivo al polen, éste labra su túnel que se llama tubo polínico pero podría llamarse con propiedad túnel del amor para que finalmente la célula masculina penetre en el ovario y se dirija a un óvulo. En este momento, si es que no había sucedido antes, el núcleo vegetativo desaparece y el germinativo o gameto se divide en dos. Es curioso que aunque la flor esté colgante o erecta y sin soportar la posición de los óvulos dentro del ovario, los gametos masculinos van a ellos sin cerrar camino como si los olfatearan; y así es, más o menos, pues los perciben por medio de hormonas especiales.

Llegando ambos gametos masculinos a los óvulos se fusionan con las células femeninas para dar lugar a la semilla: un gameto fecunda a la oosfera o gameto femenino y el otro se fusiona con dos núcleos formando un trío. De la oosfera fecundada se formará el embrión y luego la planta hija; del trío se forma una masa de células que se llena de alimentos y constituye la reserva de nutrientes para posibilitar la germinación y el crecimiento de la plantita hasta salir del suelo. Muchas veces, por supuesto, la semilla es comida por ratones, aves o por el hombre para aprovechar su almidón, proteínas o aceites grasos.

Al fusionarse las células se fusionan también los núcleos en cuyo interior van los cromosomas. Éstos son cadenas largas y finísimas de ADN (ácido desoxirribonucleico) donde están registradas químicamente las características heredables del individuo, o sea los genes. El que la planta sea alta o baja, precoz o tardía, de flores rojas o blancas, todo va previsto en el ADN que dará órdenes a la maquinaria química celular para que se ponga a fabricar tales o cuales moléculas. El ADN lleva registrada también la secuencia en que se comunicarán las órdenes y el tiempo en el que, en el futuro, se harán operativas.

Las células madres de los gametos tienen cada cromosoma por duplicado (estado diploide), pues uno estaba en la oosfera y el otro en el gameto masculino; antes de la apertura del botón floral las células madres de los gametos sufren cambios y reducen sus cromosomas a la mitad, y cada gameto se queda con sólo un cromosoma de cada clase; así es que cada gameto masculino o femenino lleva órdenes completas para todas las características del individuo pero en una sola edición (estado haploide). Al fusionarse los núcleos se conjuntan los cromosomas de ambos gametos y se vuelve al estado diploide; de tal manera, para cada carácter hereditario el óvulo fecundado —y por tanto el individuo que de él se forma— tiene una doble oportunidad; puede ser así o asá. Claro que en el caso de una flor que se autofecunda ambos juegos genéticos son iguales y no existen alternativas heredita-

rias.

Las células del óvulo empiezan a dividirse en dos, cuatro, ocho, dieciséis... Pero ya desde antes de la fecundación el óvulo "sabía" lo que iba a suceder, pues el aporte de productos químicos del polen le advierte sobre su presencia; entonces la planta empieza a movilizar los nutrientes de las hojas y la raíz hacia las flores y el ovario se fija fuertemente a la rama y empieza a desarrollarse, fenómeno que el horticultor llama prendimiento o cuaje del fruto. El ovario va a formar el fruto y los óvulos forman las semillas constituidas por el embrión (que viene de la oosfera fecundada) y el endospermo, una masa de células con nutrientes. Sucede a veces que los óvulos fracasan en su desarrollo abortando las semillas, pero como ya el ADN había girado las órdenes para ello, se desencadenan los procesos orgánicos, el ovario sigue su desarrollo y se forma un fruto sin semilla. Si no ocurre aborto sino que todo procede normalmente, se forma un nuevo ser en la planta madre, un embrión —o muchísimos de ellos— cuyas células llevan el ADN con las instrucciones necesarias para que se desarrolle una nueva planta de frijol, o un roble (o una avestruz, o una belleza como... la mujer de sus sueños).

El hombre ha llegado a conocer las hormonas que intervienen en el cuaje del fruto de modo que en muchos casos puede aplicarlas a las plantas para obtener frutos sin semilla o para hacer que las flores "peguen" en mayor porcentaje. Ésta es una de las aplicaciones de las hormonas más utilizadas.

INFORMACIÓN PARA LA VIDA

La información para la vida está muy bien resguardada. Dentro del cuerpo del individuo están sus órganos sexuales, dentro de ellos están las células reproductoras o gametos y en el interior de ellos se encuentra el núcleo que guarda las cadenillas de ADN donde se codifican las características hereditarias, o para hablar

con mayor precisión, las órdenes para que se realicen las características individuales heredables. Éste es un proceso un tanto complicado que se expondrá en forma superficial y esquemática.

Cuando la célula termina de dividirse queda en disposición de llevar a cabo el proceso de transmisión de la información para la vida; en este periodo los cromosomas, que durante la división celular tenían las cadenas de ADN recubiertas por una capa de proteína y semejaban salchichas, pierden dicha capa quedando el ADN expuesto directamente al medio del interior del núcleo. Entonces ocurre el proceso:

1) Cada cadena de ácido desoxirribonucleico (ADN) se duplica en otra de material muy parecido: el ácido ribonucleico (ARN). La duplicación se efectúa tomando materiales del jugo celular, los cuales se van ordenando de manera que cada gene del ADN pasa a quedar impreso en el ARN.

2) Así se forman dos clases de ARN. Una es el ARN mensajero que sale al protoplasma en forma de largas cadenas que llevan impreso el mensaje del ADN. La otra es el ARN de transferencia que sale al protoplasma en forma de cadenitas muy cortas que difieren una de otra en un detalle de su composición química; cada tipo de cadenita se liga a un aminoácido determinado de los que se encuentran en el plasma celular.

3) Las cadenillas del ARN de transferencia con su aminoácido ligado se van colocando a lo largo de la cadena larga de ARN mensajero, y se sitúan en un lugar determinado por la configuración química. Así, los aminoácidos se van colocando en lugares precisos determinados por el ARN, el cual se constituyó conforme a la configuración del ADN.

4) Finalmente, los aminoácidos se ligan entre sí y se desprenden del ADN para constituir una proteína estructural o una enzima característica del individuo en cuestión. Así, las órdenes hereditarias (genes) en el ADN se hacen operativas dando un modo de ser

al individuo.

Aquí surge una dificultad que fue un problema desde que Morgan estableció la teoría cromosómica de la herencia. Todas las células del individuo provienen de la multiplicación del óvulo fecundado, por tanto, todas tienen los mismos cromosomas y genes; entonces ¿por qué no son todas las células iguales entre sí? ¿Por qué existen diferencias no sólo entre los diversos grupos celulares, sino también a través del tiempo? Para poner un ejemplo, si el óvulo del que provengo llevaba el gene para formar pelo ¿por qué no tengo pelo en todas las células, en todo el cuerpo como un hombre lobo. Y por otra parte, si llevaba el gene para ser barbado ¿por qué a los cinco años no poseía grandes bigotes y poblada barba, si los genes estaban presentes?

La explicación se debe a dos franceses, Monod y Jacob, y se conoce como teoría del operón o de la represión génica. Esta teoría postula que además de los genes que ordenan formar tales o cuales clases de proteínas, llamados genes operadores, existen otros genes llamados genes reguladores, cuyo papel es reprimir la acción del gene operador. Los genes represores están en interacción con los agentes del medio externo; así, bacterias que pueden sintetizar enzimas para digerir diversas clases de azúcares solamente hacen aquella enzima apropiada para deshacer la única clase de azúcar que hay en el medio, y así los genes que ordenan la síntesis de las otras clases de enzimas quedan inactivos. Se pensó que el azúcar, por sí misma, le "dice" a la bacteria qué tipo de enzima debe fabricar, pero no es así: como lo expresa Jacob (El juego de lo posible, Editorial Grijalbo) "...El azúcar actúa simplemente como una señal para iniciar la síntesis de la proteína (enzima) poniendo en marcha una serie de procesos regulados por los genes hasta el mínimo detalle". Este sistema operador-regulador se conoce con el nombre de sistema operón.

Es satisfactorio y aleccionador darse cuenta de que en los fundamentos mismos de la vida se encuentra un "cogobierno". El gene

operador no opera a su libre arbitrio, sino que sobre él se encuentra un represor que a su vez actúa, podría decirse, como "a petición de... ", y conforme a las necesidades del medio. Hay pues una correspondencia entre las posibilidades genéticas —si no hay gene operador la característica no puede aparecer— y las necesidades que impone el medio, y esta armonía asegura la eficiencia y buena marcha de la sociedad de organillos que es la célula. Una lección que muchos gobiernos y muchos empresarios, para quienes sus gobernados y obreros únicamente deben callar y obedecer, no han podido asimilar.

Entre las moléculas del medio que actúan sobre el sistema operón son muy importantes en los seres multicelulares las que fabrican las células vecinas. El conjunto celular actúa sobre cada célula particular reprimiendo unos genes y activando otros para dirigir el destino de cada célula en función de un destino común: formar un todo armónico, un individuo a cuya organización se supeditan las potencialidades de cada célula.

En principio, cada célula procedente del óvulo fecundado lleva todas las potencialidades de formar un individuo completo puesto que lleva todos los cromosomas con sus genes; sin embargo, las represiones génicas las incapacitan para ello y las células del embrión vegetal o animal han perdido incluso la capacidad de permanecer con vida si se les separa de sus compañeras. Sin embargo, en la actualidad se han desarrollado técnicas que permiten a un conjunto de pocas células establecerse en un medio de cultivo en un frasco de vidrio en el laboratorio y desarrollarse hasta dar una plantita. Con células animales aún no se puede llegar a tener un nuevo individuo pero sí pueden conservarse y reproducirse en condiciones controladas; tal es la técnica de cultivo de tejidos. La masa de células en cultivo puede seccionarse una y otra vez y así obtener muchas plantitas idénticas entre sí, pues todas vienen de una célula o de unas pocas células; esto es lo que se denomina clonación y ya tiene muchas aplicaciones en floricultura y horticultura.

El cultivo de tejido y la clonación han dado a los escritores de ciencia la posibilidad —ya prevista por Huxley en su libro *Un mundo feliz*— de tener una legión de hombres-robot que ejecuten los trabajos rutinarios o indeseables. Aún no existen, realmente, técnicas para hacerlo pero es muy posible que en el futuro lleguen a hacerse realidad. Entonces habrá grandes discusiones sobre la dignidad esencial del hombre, la libertad individual, el derecho a la realización de la persona y toda esa clase de cosas que molestan a los tecnólogos porque no pueden pesarse en una balanza analítica ni observarse por medio de un espectómetro... Aunque tal vez algún día aprendamos a hacerlo.

EL CAMINO DE LA VIDA

Plantas y animales inician su vida como una célula fecundada que se divide una y otra vez dando lugar a un embrión. ¿Cuándo el nuevo ser es ya un individuo aparte de la madre? Genéticamente, desde el momento de la fecundación, puesto que a partir de ahí existe un conjunto de genes y por tanto de características individuales únicas, diferentes a todas las que existen o hayan existido. Es cierto que las características no se han hecho una realidad anatómica o fisiológica pero ya existen como realidad bioquímica y celular, y la bioquímica celular es la base de la vida. Anatómicamente el nuevo ser empieza a existir cuando es reconocible como tal; al principio, tanto un roble, como un hipopótamo, como un hombre son una pelotilla compuesta por un número creciente de células; poco a poco van esbozándose las formas específicas y llega el momento en que cualquiera puede decir —en algunos casos tal vez se precise de un real conocedor— qué clase de planta o animal es. Funcionalmente el embrión va formando sus órganos pero es dependiente de la madre, planta o animal, de donde le llegan alimentos, oxígeno, agua y que le brinda cubiertas protectoras; está unido al cuerpo materno por alguna estructura anatómica, y hasta que nace se separa de la madre de manera anató-

mica y funcional y se tiene sin lugar a dudas un individuo diferente. En el caso de los animales lo que era un óvulo se independiza y se transforma en un nuevo ser; en el caso de las plantas se independiza todo el ovario, que forma el fruto. La estructura sobreviviente, la semilla, proviene del óvulo, y estrictamente hablando proviene de una de las células del óvulo, la oosfera fecundada, que es la que forma al embrión. El problema de cuando el nuevo ser es un individuo y no una parte del cuerpo materno ha dado lugar a muchos debates en el caso de la especie humana.

Al microscopio todas las células del embrión vegetal se miran iguales y no parecen tener "pies ni cabeza". Pero sí tienen: si se corta un embrión transversalmente por el medio y se pone cada mitad en un medio de cultivo, una de ellas se desarrollará dando un talluelo sin raíz y de la otra se formará un radícula sin tallo. Esto prueba que, aunque no se detecte al microscopio, las células son diferentes en su estructura molecular y tienen ya represiones génicas diversas; fisiológicamente ya está inscrito su destino futuro. El término técnico es que se han diferenciado, y este proceso se hará evidente en cuanto la semilla germine pues cada grupo de células formará diferentes estructuras. Se forman así los diversos tejidos de la planta: los que conducen agua y sales (xilema) o alimentos elaborados (floema), los que fabrican y almacenan los nutrientes (parénquimas), los que afirman el cuerpo del vegetal (fibras de colénquima y esclerénquima) y los protectores del cuerpo (epidermis y peridermo). Los tejidos se organizan entre sí para formar la raíz, el tallo con sus ramas, las hojas y más tarde las flores y frutos, que son los órganos vegetales. Todo ello sucede de modo secuencial, armónico, de manera que de la diversidad celular se forma un todo único: el individuo. Éste es el proceso de morfogénesis cuyo lema sería *ex pluribus unum*.²

El proceso de diferenciación y morfogénesis ha hecho surgir de nuevo la antigua disputa sobre el finalismo. Aristóteles explicaba

² De los muchos, uno.

la existencia de las estructuras orgánicas por su finalidad. Al rechazar a Aristóteles los racionalistas del siglo XVIII repudiaron todo finalismo y sus herederos positivistas se dieron a rebuscar estructuras inútiles como el apéndice intestinal, las tetillas en el mamífero macho, la glándula pineal etc., que proponían como ejemplos de que las estructuras biológicas no son causadas por una función necesaria, sino determinadas por la evolución. En realidad las estructuras inútiles son muy contadas y aun cuando fuesen meras reliquias evolutivas alguna vez debieron ser estructuras útiles con una finalidad determinada. La tendencia actual es aceptar la finalidad de las estructuras orgánicas pero no en sentido aristotélico sino como producto de una evolución por la selección de los individuos mejor adaptados genéticamente (véase el capítulo VI, La evolución de la vida, el apartado "Mendel y el gene"). En este espinoso tema será mejor ceder la palabra a alguien más autorizado, François Jacob, coautor de la teoría del operón y Premio Nobel: "... no se puede hacer biología sin referirse constantemente al 'proyecto' de los organismos, 'sentido' que da la existencia a sus estructuras y funciones. Vemos pues que distinta es esta actitud del reduccionismo que ha prevalecido durante tanto tiempo" (La lógica de lo viviente, Salvat)

Tanto el desarrollo de la planta como el del animal son procesos fásicos, o sea, no continuos como el crecimiento, sino que proceden por salto de un estado del desarrollo a otro. De los cinco a los quince años el niño sufre cambios cuantitativos (peso, altura) pero no cualitativos; de pronto, en pocos meses, aparecen los signos de la virilidad o de la femineidad y se entra en la etapa de la juventud. Durante unos quince años ocurren pocos cambios, pero pasada la edad de treinta años vienen cambios metabólicos y se inicia la fase de madurez. Este estado se mantiene durante largo tiempo pero después de los sesenta años se sufren nuevos cambios fisiológicos y sobreviene la vejez.

La planta también sufre un desarrollo fásico. En tanto la semilla permanezca en un ambiente fresco y seco el embrión queda en

letargo. Al absorber agua la semilla se hincha y las células del embrión se activan, sus genes se desreprimen y determinan la aparición de hormonas que facilitan la consecución de energía al deshacer los almidones (giberelinas), luego aparecen hormonas que activan la división celular (citocininas) y poco después las auxinas, que promueven el alargamiento de las células, su diferenciación en tejidos y su organización en estructuras de mayor integración. Se forma así una plantita infantil que se abre paso a través del suelo hasta salir a la superficie. La plántula está sujeta a ciertas enfermedades, tiene tales o cuales requerimientos de temperatura y de intensidad lumínica y exige determinados foto o termoperiodos (véase el capítulo III, "La regulación de la vida"). Estas exigencias climáticas y la resistencia o susceptibilidad a enfermedades se mantienen unas pocas semanas y luego cambian en la planta juvenil; los nuevos requerimientos fisiológicos se mantienen por un tiempo en tanto los tallos de la planta aumentan de tamaño y se ramifican. De pronto la planta se cubre de botones florales: ha entrado en su madurez sexual lo que se acompaña de cambios en las respuestas a los estímulos externos; generalmente exige temperaturas más elevadas y días más largos, hay plantas que no florecen por no recibir suficiente insolación; también pueden volverse susceptibles a enfermedades que antes no las atacaban. Al final la plantita se torna senil y muere; las personas que tienen contacto con las plantas creen quizá que los árboles no envejecen, pero cualquier fruticultor sabe que cuando sus manzanos o sus naranjos llegan a cierta edad no responden ya al abonado u otras prácticas de labranza y si desea mantener la productividad de su huerto debe sustituirlos por árboles jóvenes.

EL SEXO Y LA MUERTE

¿Todo lo que vive tiene que morir? Consideremos un poco qué entendemos por morir. Una gata da a luz su camada y luego muere del parto o por otra causa; ocurrió un acto de reproducción —

ahí están los gatitos— y un acto de muerte —ahí está el cadáver de la gata— todo simple y claro. Veamos otro animal: una amiba. Crece, se parte en dos al reproducirse, vuelve a crecer y a partirse en dos de nuevo... y así ha venido haciéndolo desde la amiba primordial, porque omnia cellula ex cellula y omnia amoeba ex amoeba.³ ¿Cuándo murió? ¿Al dividirse? Pero entonces, ¿dónde está el cadáver? Se podría argüir que al dividirse en dos la individualidad de la amiba desapareció o murió y nacieron otras dos individualidades. Pero estas amibas tienen los mismos genes que la "madre", así que sus individualidades son idénticas a ella. Y donde hay muerte hay alguien muerto, un cadáver. ¿Dónde está el cadáver de la amiba "madre"? En los organismos unicelulares hay un individuo vivo ininterrumpidamente desde el que apareció en el periodo Precámbrico hasta el que estamos mirando bajo el microscopio.

Sin embargo en las amibas y protozoarios en general sí existe el fenómeno de muerte natural. Cuando se coloca un amiba o paramecia en un ambiente apropiado se divide una y otra vez dando muchos "hijos"; pero al paso del tiempo los descendientes —o la misma célula fraccionada y multiplicada, si se quiere pensar así— empiezan a mostrar torpeza de movimientos, lentitud en la tasa de divisiones, debilidad en la reacción a los estímulos de luz, calor, etc.; languidecen como los ancianos y al fin mueren. Se creía que estas células morían intoxicadas por sus propios desechos y excreciones, lo que bien puede ser, pero el caso es que languidecen y mueren aunque el medio se mantenga en condiciones apropiadas. Mueren porque envejecen. Pero entonces ¿por qué no han muerto todos los descendientes de la amiba primordial?

Si entre las amibas o paramecias envejecidas se introducen individuos procedentes de otra población, por ejemplo de alguna charca, ocurre un fenómeno que recuerda a la cópula o a la fecundación: dos individuos de diferente población se aproximan y se fusionan. Así, se efectúa un intercambio de cromosomas; lue-

go se separan rejuvenecidos, ágiles, prontos en la respuesta a los estímulos. Si la muerte es la desaparición de la individualidad es paradójico que este fenómeno parasexual que lleva consigo el cambio en las características genéticas y por tanto en "la manera de ser y parecer" esté más cerca del concepto de muerte que la división de una célula "madre" en dos "hijas", fenómeno en el que nadie desapareció y las características individuales se conservaron intactas.

Los fenómenos de intercambio cromosómico se han observado también en bacterias y quizá existan en todos los seres unicelulares. También las células de los animales superiores sufren senilidad y muerte: Hayflick cultivó células del tejido conjuntivo de feto humano y observó que se producían formando colonias, y que después de unas cincuenta divisiones mostraban cambios degenerativos, dejaban de dividirse y luego morían. El tiempo externo, del reloj, no cuenta, pues pueden mantenerse congeladas en vida suspendida, pero el "tiempo interior" de que hablaba Carrel en La incógnita del hombre es inexorable: cincuenta divisiones y ¡basta!

Las observaciones de Hayflick y de otros investigadores parecen demostrar que la muerte va implícita en la célula viva. Entre los mensajes genéticos va uno final que implica la muerte; tal vez es la elaboración de una "proteína de muerte" que opere suspendiendo algún proceso orgánico, tal vez se determinen cambios en la arquitectura molecular y por tanto desarreglos funcionales. Pero ¿qué pasa con los organismos pluricelulares, vegetales o animales? Aunque a menudo los individuos mueren por causas externas, todos reconocemos que cada especie tiene un determinado tiempo de vida que en el hombre, por ejemplo, está entre 90 y 100 años. Las células del hombre llevan un mensaje de muerte pero algunas de ellas escapan a las consecuencias de la misma manera que los seres unicelulares: fusionándose con otra célula, recombinando los mensajes genéticos en la fecundación. Así que las células de nuestro cuerpo mueren pero de nuestras células

sexuales se organiza un nuevo ser y así, de algún modo, persistimos.

La íntima conexión entre sexualidad y muerte se hace patente en la evolución de una clase de algas verde, las clorofitas. Las más primitivas son unicelulares; luego se encuentran especies en las que cada individuo es capaz de vivir por sí mismo pero por alguna misteriosa razón se ve compelido a vivir en asociación con otros individuos iguales a él formando colonias con un número constante de células. Existen líneas en estas algas coloniales en las que el número de células que forman la colonia va en aumento en cada especie sin que cambie mucho la apariencia y la fisiología de las algas que la constituyen. Se llega así al *Volvox*, organismo que forma unas esferillas verdes visibles apenas al ojo, constituidas por cientos de células iguales pero que muestran indicios de ser un todo individual y no un agregado celular o colonia. Llegado cierto tiempo algunas de las células del *Volvox* se modifican, forman gametos y ocurre la fecundación. Se forman células huevo que originan nuevos individuos; el resto del cuerpo, cientos de células, muere. Hay muerte puesto que hay cadáver y ciertamente hay un nuevo ser. Al aparecer la sexualidad aparece la muerte como el fin natural de la vida.

Este hecho podría ser utilizado por algún filósofo puritano como demostración del justo castigo que espera a los que sucumben a los nefandos placeres de la carne. La verdad es que la aparición simultánea del sexo y de la muerte es la demostración de que la vida no es posible sin un constante cambio, una perenne adaptación a nuevas circunstancias que solamente podemos afrontar con un constante recambio de posibilidades individuales, con una evolución. El sexo provee la flexibilidad genética para la evolución; en cuanto a la muerte, Jacob dice que: "... la posibilidad misma de una evolución es la muerte... impuesta desde dentro... por el mismo programa genético" (*La lógica de lo viviente*, Salvat).

Esta consideración parecerá, sin duda, muy fría y poco consoladora para quien se encuentra preocupado por su impermanencia y su trascendencia en el tiempo. Porque tan inaprehensible a la mente es la idea de la eternidad, del inacabable ser feliz o desgraciado, como la idea de un total no ser. Nuestra mente se mueve en el tiempo y el espacio como el pez que se mueve en el agua sin entender que está en el agua, decía Kant; no sabemos pensar sino en lo transitorio y el morir nos asusta porque no lo podemos racionalizar. Y por ello quisiéramos pensar que morir es dormir: "To die, to sleep. To sleep, perchance to dream..."³ y como Hamlet, queremos llevar a la eternidad nuestras virtudes y nuestros vicios: nuestro ser. Pero a veces nos asusta, porque "... in that sleep of death what dreams may come?"⁴

V. EL COMPLEJO VITAL

YO Y MIS CIRCUNSTANCIAS

TAN CERTERO como conocido el apotegma de Ortega y Gasset: yo soy yo y mis circunstancias y si no las salvo a ellas no me salvo yo. Tarde como siempre, pero aún a tiempo de salvarlas y salvarnos, hemos entendido que el apotegma también se aplica a nuestras relaciones con las circunstancias físicas y biológicas en que nos movemos con nuestro medio ambiente, nuestro entorno ecológico. El hombre posee talento especial para cometer una estupidez tras otra hasta llegar al borde de un abismo; entonces recapacita, se echa hacia atrás y empieza a dirigirse a otro preci-

³ Morir, dormir. Dormir, soñar acaso... en ese dormir de la muerte, ¿qué sueños soñaremos? *Hamlet*, de Shakespeare.

⁴

picio en el cual tampoco va a caer... probablemente.

Todo ser vivo interacciona con su ambiente físico. Cierto que los animales superiores hemos desarrollado sistemas de aislamiento y protección: mi cuerpo se mantiene a 36.5° C sea invierno o verano; mi sangre varía muy poco en su acidez y su salinidad aunque mis alimentos cambien. Las plantas superiores han seguido otro camino evolutivo: flexibilizar su anatomía y fisiología reprimiendo o desreprimiendo genes, con lo que apresuran o suspenden la germinación, la floración, la caída de las hojas, etc., acoplándose al clima (véase, en el capítulo III, La regulación de la vida, el apartado "Un sistema previsor"). Lo que aquí interesa narrar son los fenómenos que muestran las poblaciones con respecto a su entorno ecológico, no los cambios individuales.

Existen muchos tipos de relaciones entre una planta superior y su entorno biológico. Puede ser presa de animales herbívoros, o bien aislar a diversos animales sirviendo de guarida o de soporte a sus nidos. Puede ser atacada por parásitos, hongos, bacterias o virus que se alimentan de sus tejidos y excretan toxinas que le causan la muerte, o bien puede servir de "casa de huéspedes" u hospedera a parásitos que pasan en ella parte de su vida sin causarle daño considerable, como el hongo de la roya o chahuixtle, que vive en el agracejo (*Berberis*) sin dañarlo, pero cuando pasa al trigo causa la ruina del agricultor.

Un caso interesante de la asociación planta-animal es la intioducción de conejos a Australia, que dio lugar a un problema terrible, pues al carecer de enemigos naturales y dada su alta tasa de reproducción, la población conejil creció de modo incontrolable, volviéndose un azote para la agricultura. La introducción del nopal presentó exactamente el mismo problema y por la misma razón: no había insectos que lo comieran. Pues bien, un biólogo se dedicó a recoger las bolitas excrementicias de los conejos y encontró que contienen muchas semillas de tuna o nopal y que, además, su paso por el intestino del conejo había favorecido su

germinación. De modo que los conejos comen las tunas y luego ayudan a dispersar y germinar las semillas para que haya más tunas y más conejos. Un hermoso caso de comensalismo planta-animal que mantiene ocupados y de mal talante a los granjeros australianos.

Las semillas de las plantas pueden tener pelillos, alas u otras estructuras que ayudan a su dispersión o, por el contrario, estar encerradas en pesados frutos que gustan a los pájaros que las comerán y arrojarán luego en algún lugar distante. Las plantas, al reproducirse, forman comunidades vegetales. La comunidad vegetal, como un todo, está acoplada al ritmo estacional. Así, un lugar determinado puede ser un jardín pleno de flores o un yermo según sea época lluviosa o de sequía, o estación invernal o primavera. Dentro de la comunidad vegetal y dependiendo de ella bulle la vida animal, desde aves y mamíferos hasta microorganismos y lombrices bajo tierra, pasando por insectos, arácnidos y miriápodos.

Si en lugar de un área relativamente pequeña se recorre una región muy extensa se observarán muchas comunidades vegetales diversas, pero si se encuentran en el mismo marco de latitud y altitud, todas mostrarán los cambios estacionales, el acoplamiento con el medio físico y también el de las comunidades entre sí, una integración a nivel poblacional que da a toda vegetación regional una "cara", una facies ecológica característica. Así se forman las grandes asociaciones vegetacionales: bosque de pinos, bosque mixto, bosque de hoja caediza, selva lluviosa siempre verde, pradera, sabana, desierto. Estas grandes asociaciones incluyen muchos tipos de comunidades y cientos de diferentes especies que se integran en un todo común.

Viajando de norte a sur se pasa a través de las asociaciones vegetacionales dichas, desde el bosque de pinos hasta la selva siempre verde si se va por regiones lluviosas, pues ahí la temperatura es la limitación o hasta el desierto si la limitación es la lluvia. Los

mismos tipos de vegetación se pueden encontrar en un viaje corto si se asciende a las altas montañas tropicales. Viajando de Veracruz a México, sin salir de la misma latitud, se empieza atravesando tierras que antes fueron selva y hoy son cafetales y otros cultivos del trópico, se pasa por bosques de clima templado, con árboles grandes de liquidámbar, y en lo alto de la Sierra Madre se encuentra el bosque de pinos. La importancia de la humedad como restricción del tipo de asociación vegetal se hace patente al tramontar la Sierra. La vertiente oriental que mira al Golfo de México recibe los vientos que vienen del mar cargados de humedad y al descargar ahí la lluvia dan origen a los bosques; la vertiente occidental es recorrida por vientos ya carentes de humedad y por eso es árida; a su pie se conforman valles desérticos como el de Tehuacán.

LOS HILOS DE LA VIDA

Las interrelaciones que se establecen entre los miembros de una comunidad biológica, plantas y animales, son interesantísimas. La ciencia que las estudia es la ecología y como el sujeto de estudio son los seres vivos se ha considerado una rama de la biología; pero dado que las plantas dependen de las características del clima y del suelo no es posible ser ecólogo sin conocer algo de geología, mineralogía y climatología. Por otra parte, los cambios que ocurren en la comunidad por variación de las poblaciones de las especies deben estudiarse con determinados parámetros (natalidad, mortalidad, etc.) y métodos estadísticos; por lo tanto, el ecólogo debe estar bien preparado en biometría. Por ello, en los últimos años se ha hecho evidente que la ecología no es una rama de la biología sino un campo del saber que utiliza diversas ciencias pero que por sus procedimientos y metas debe considerarse una ciencia autónoma. Así, Medawar en su jerarquización de las ciencias separa la ecología de la biología y la agrupa junto con la sociología (véase *Studies in the Philosophy of Biology*, Ayala y

Dobzhansky, University of California Press).

Uno de los vínculos más conocidos que se establecen entre los miembros de una comunidad biológica es la cadena alimenticia. Una especie dada de planta es comida por los conejos que a su vez son devorados por los coyotes; o bien ciertas semillas son comidas por los gorriones que son presa de los gavilanes. Las cadenas se cruzan y recruzan entre sí: gorriones y ratas pueden competir por una clase de semillas; gavilanes y búhos compiten con las serpientes en la cacería de roedores como ratones y conejitos. Este entrecruzamiento de cadenas o hilos forma una red o tejido que Storey trata de modo muy interesante en su libro *La trama de la vida* (Fondo de Cultura Económica).

Pero cualquiera que sea el tipo de comunidad biológica, incluso si es acuática, y sin importar qué cadena alimenticia se considere, el problema básico para el ser vivo es el del mantenimiento de la materia y la energía de su organismo. El único tipo de ser vivo autosuficiente es la planta verde que rehace su cuerpo con el bióxido de carbono del aire y el agua y sales del suelo y que funciona con energía solar (lumínica realmente). La planta verde es el productor en la cadena alimenticia; es el punto de partida y será consumida por animales herbívoros que son los consumidores primarios; éstos pueden ser presa de carnívoros, que son los consumidores secundarios. Al final siempre hay un cadáver pues todo lo que vive muere. Pero la vida siempre resurge: el cadáver es utilizado por las bacterias que lo desintegran y devuelven al suelo los elementos químicos; son los reintegradores. Entonces una plantita absorberá esas sales y se iniciará una nueva cadena alimenticia, un nuevo hilo en la siempre renovada trama de la vida.

La materia forma un ciclo: sale del suelo y a él regresa. El ciclo del nitrógeno, elemento principal, se consideró en el capítulo II (*La materia viviente*, apartado "Comiendo suelo"), pero hay también un ciclo del fósforo, del potasio y de cada uno de los elementos del cuerpo vegetal. Pero la energía no forma ciclo: es

utilizada y degradada. No se destruye pero se torna inutilizable para el ser vivo. Esta pérdida constante de energía es compensada por un ingreso a cargo de la planta verde que utiliza energía de la luz, en el campo de la luz solar, para sintetizar alimento al transformar la luz en energía química. Es, por así decirlo, el bastidor donde se sostiene la urdimbre, la trama de la vida.

El hombre ha llegado a conocer y manipular tantos procesos que a veces cree saber más de lo que realmente entiende; sirva de ejemplo lo sucedido en Kaibab (Nuevo México). En el bosque de Kaibab había un reducido número de venados y para aumentarlos se decidió matar a sus predadores: pumas, lobos y coyotes. El resultado fue que los venados pasaron de 4 000 en 1905 a casi 100 000 en 1925; la vegetación empezó a escasear y los venados pequeños o débiles empezaron a morir de hambre; luego el forraje casi desapareció y el bosque se deterioró tanto que en 1939 se tuvo que intervenir con cautela restituyendo predadores y eliminando el exceso de venados para restablecer el equilibrio destruido pues el hombre, en su ignorancia, no consideró que los pumas y lobos, al mantener el equilibrio natural, estaban realmente protegiendo a la comunidad de venados.

Todas las especies llevan una capacidad de reproducción capaz de destruir el equilibrio y la organización de la comunidad. Esta capacidad es, finalmente, autodestructiva; el hombre, ser biológico, comparte esta característica. Todo sitio geográfico particular puede sostener un cierto número máximo de individuos de tal o cual especie; esto es lo que se llama capacidad de carga y el concepto se aplica también a la especie humana. El hombre ha aprendido a dominar muchas enfermedades y carencias del medio, por lo que el crecimiento de la población humana ha sido verdaderamente explosivo en algunos sitios en los últimos años. El hombre cree escapar de las leyes naturales aplicando la ciencia y la tecnología pero lo que ha logrado es tener una sobrepoblación con problemas muy serios y difíciles de resolver porque, quiéralo o no, es un sujeto ecológico más. No es posible, por

elemental solidaridad humana, suprimir los servicios del socorro médico y de asistencia social para que los mecanismos naturales de lucha por la vida y muerte mantengan a la población en sus niveles naturales, en equilibrio con la capacidad de carga; pero sí es muy razonable propugnar por un control de la natalidad. En muchos países es ya urgente conciliar el respeto a la libertad individual con medidas que limiten el crecimiento de la población.

EL IMPACTO DEL HOMBRE

Sin duda se han cometido muchos errores en el manejo del medio ambiente; algunos por un mal entendido deseo de mejorar las cosas, en otros casos por ignorancia y tontería pura y en muchos otros por egoísmo y afán de lucro. Por supuesto, siempre han existido tontos, ambiciosos e irresponsables, pero ahora se suma la sobrepoblación y los medios técnicos. Un hombre con un hacha no puede realmente causar mucho daño a un bosque extenso y bien poblado, pero veinte hombres armados con sierras eléctricas, tractores y poleas para mover los troncos acabarán con el bosque en poco tiempo; una familia no ensuciará demasiado el prado en su día de campo, pero veinte familias acampando en él, arrojando bolsas de plástico no degradable y envases diversos y llenando el arroyuelo de desperdicios y detergentes convertirán el prado en un muladar.

Afortunadamente muchas personas han cobrado conciencia del peligro, tomado posiciones decididas y luchando por salvar el medio ambiente. Por desgracia nunca faltan los que toman posiciones extremas, los alarmistas, que no encuentran sabor a la vida si no la viven en continuo sobresalto, los que todo lo ven en blanco y negro.

Así como es muy diferente un naturalista, cazador de bichos y colector de plantas, de un naturista, consumidor de frutas y amante de los baños de Sol al desnudo, habrá que diferenciar entre

ecólogos y ecologistas. Un ecólogo es un profesional cuyos juicios, es de esperarse, serán fundamentados, meditados y equilibrados, como deben ser los juicios científicos; un ecologista, es un amante de la naturaleza más o menos enterado de algunos conceptos ecológicos que siente que su deber es preservar en lo posible las condiciones naturales. Esto es plausible, pero no tanto si la emotividad lleva a extremos; a falsear los hechos, argüir con estadísticas inventadas y asustar a la gente con peligros que no existen o que son poco probables. Del hecho cierto de que existen insecticidas peligrosos deciden que el manejo de estos productos siempre causa alguna muerte; del abuso de los fertilizantes sintéticos llegan a la absurda proposición de que las hortalizas producidas con su ayuda son menos nutritivas que las producidas con abonos orgánicos, como si pudiera haber dos tipos diferentes de moléculas de sacarosa o de vitamina C.

Debe agradecerse a los ecologistas que hayan gritado a voz en cuello lo que muchos ecólogos habían dicho con la voz quieta y susurrante de los académicos, pues era preciso que las personas fueran conscientes de los actos criminales que muchos industriales, comerciantes, técnicos y otros individuos cometen. La contaminación de ríos con desechos tóxicos, el abuso y mal uso de plaguicidas peligrosos, la tala irracional de los bosques; éstos y muchos otros abusos debían combatirse y es gracias a los ecologistas, en buena parte, por lo que los gobiernos han tomado medidas que reprimen los abusos; la tímida voz de los profesores universitarios tiene poco peso político. Desafortunadamente, animados por sus éxitos los ecologistas plantean demandas sin dar soluciones alternativas. Es fácil decir "no se talen los bosques" si no se toma en cuenta los miles de habitantes rurales sin tierra; es fácil decir "no se usen insecticidas" si se hace caso omiso de los miles de toneladas de alimentos perdidos por una población ya hambrienta a causa de las plagas agrícolas.

En México —y sin duda en otros países— el problema se complica porque además de los binomios ecólogos-ecologistas y na-

turalistas-naturistas hay antropólogos y antropologistas: el antropologista es aquél para quien todo rasgo cultural propio del indio americano es superior al del europeo (o más o menos europeo, criollo o mestizo). Los antropologistas creen que el maíz debe sembrarse con ayuda de la coa, no del arado, ni tan siquiera de una pala pues la pala no es autóctona. En el norte del país hay muchos agricultores con problemas técnicos y socioeconómicos pero jamás se acercan a ellos los antropologistas; tal vez porque carecen de interés folklórico o porque son descendientes de los mexicanos que lucharon por la tierra contra apaches y comanches.

Hay ejemplos de esfuerzos serios para resolver los problemas de contaminación o destrucción de los recursos bióticos; tal es el control biológico, técnica que está en el corazón de todo ecologista. Consiste en usar agentes naturales, como insectos carnívoros o enfermedades específicas contra las plagas de los cultivos; la base teórica es que cada especie tiene sus enemigos naturales, la dificultad radica en que estos enemigos también pueden atacar a los insectos benéficos a otros cultivos o especies útiles.

Aplicar un control biológico no es empresa fácil. Supóngase que se tiene una planta que lleva en sus hojas un principio insecticida. Para impedir que alguna compañía trasnacional de agroquímicos —ente que provoca pesadillas al ecologista— se apodere de ella e imite la molécula por síntesis química, se da al agricultor la siguiente técnica: coleccionar plantas, macerarlas en agua o hervirlas, con este agua rociar las plantas cultivadas para precaverlas de las plagas. Parece perfecto pero el principio insecticida estará tan poco concentrado —siempre es así— que será preciso usar muchos gramos de planta por litro de agua y para rociar todo el campo cultivado se necesitarán muchos litros de solución. Por tanto, si el labriego posee diez hectáreas, deberá pasarse dos terceras partes de su tiempo recolectando la especie insecticida, o evitar tan penoso esfuerzo sembrando cinco hectáreas con su cultivo y otras cinco con el remedio para tener la cantidad nece-

saria: no es muy brillante el negocio. Sin embargo vale la pena seguir los estudios en esta dirección pues hay casos de gran interés (véase un libro de Rice, *Pest control with nature's chemicals*, University of Oklahoma Press).

Algunas plantas superiores producen sustancias que van al suelo, donde inhiben la germinación o el crecimiento de la raíz de otras plantas. Este fenómeno, llamado alelopatía, se ha encontrado también en especies cultivadas que por sí mismas se defienden, hasta cierto punto, de la competencia con las malezas; en la actualidad este aspecto ya se toma en cuenta en los programas de mejoramiento genético en pepino y en otros cultivos alelopáticos. También se ha pensado en programas de selección de plantas silvestres que contengan sustancias insecticidas o fungicidas con la mira de obtener una variedad que posea dichos productos en una concentración tal que resulte económico cultivarlas y explotárlas comercialmente.

En la actualidad existen en el mercado algunos "híbridos" de herbicida (bentazón) con esporas de hongo (*Colletotrichum*) para atacar algunas malezas específicas sin dañar al arroz ni a la soya; es claro que esto no se logra fácilmente pues el hongo usado debe poseer estabilidad genética para que no ocurra una mutación y empiece a atacar al cultivo, y debe tener flexibilidad ecológica para que funcione en diversos climas y haya posibilidades económicas de venderlo.

De esta manera, una sana y racional preocupación por los problemas del medio ambiente puede satisfacer a las personas asustadas justamente por la contaminación de los campos, aguas y alimentos.

Entre los ecologistas se encuentran muchas personas que definitivamente temen al progreso y por razones religiosas o filosóficas, o por simple inclinación natural desearían volver a una vida sencilla y primitiva. Estas personas son naturistas con un fondo moral y se acogen al movimiento ecologista que es o debería ser

otra cosa. Respecto a la definición entre naturalistas y naturistas y ecólogos y ecologistas deben dejarse en claro dos puntos fundamentales (una definición entre antropólogos y antropologistas quedará para otro lugar).

El primer punto es que la ciencia y la tecnología no tienen contenido ético por sí mismas; son sus fines y la manera en que se aplican lo que está sujeto a juicios de valor moral. Dice Octavio Paz (Tiempo nublado, Seix Barral) que "las religiones son lo que las lenguas para Esopo: lo mejor y lo peor que han inventado los hombres. Nos han dado al Buda y a San Francisco de Asís y también a Torquemada y a los sacerdotes de Huitzilopochtli". Lo mismo se puede decir de la ciencia: nos ha dado terribles instrumentos de muerte como los gases asfixiantes y la bomba atómica y nos ha dado los analgésicos, los antibióticos (¿puede pensarse en una amputación sin anestesia ni penicilina?) e innumerables máquinas que hacen la vida menos difícil y penosa.

El segundo punto es que, de modo irrecusable, Cultura se opone a Natura. Sin duda los ecologistas del Neolítico vociferaron contra los primeros agricultores que arrojaban en un campo muchas semillas de una misma especie pues estaban rompiendo el equilibrio natural. Los ecologistas de la Alta Edad Media dirían horrores sobre los monjes que desmontaban Europa —toda ella era un bosque— para cultivar las tierras. En el Renacimiento algún ecologista debió enojarse mucho con Leonardo da Vinci por inventar un artefacto para drenar pantanos, pues iban a desaparecer ecotipos de ranas y serpientes. Cultura se opuso a Natura desde que el cazador del Paleolítico labró y afiló una piedra y la insertó luego en un palo para tener un arma. Habrá que buscar un justo medio entre la posición de los que aplauden todo nuevo invento o aplicación tecnológica y la posición de los que ven la salvación del mundo en un regreso a la "vida natural" sin aparatos ni técnicas. También es preciso encontrar un justo medio entre las maneras y decires artificiosos de los precieuses ridicules y la prosa de algunos pseudonovelistas que parecen suponer que una narración

debe versar sobre un lumpen proletario e incluir un soliloquio — ahora lo llaman "diálogo interior"— de un drogado con todo el castizo lenguaje de las circunstancias.

El hombre es un sujeto ecológico y no puede subsistir en desajuste con el medio. Pero el hombre es un sujeto en evolución; es un animal muy adaptable a diversos medios gracias a su tipo específico de evolución cerebral es capaz de accionar sobre el medio ambiente adaptándolo a sus necesidades y deseos. La cultura es el producto de la evolución y solamente cuando el hombre racionalice profundamente los lazos entre su ser cultural, su ser ecológico y el valor evolutivo de la cultura, podrá empezar a conocerse a sí mismo.

Sobre esto quisiera dar una opinión de hombre común, pues no soy antropólogo. El medio ecológico hostil del norte de México y Oeste de los Estados Unidos impuso a los indígenas el nomadismo; la negativa de los indios a reducirse a pueblos impidió a los españoles aculturarlos, aunque para facilitar la tarea llevaron tlaxcaltecas a diversas poblaciones. El mexicano criollo o mestizo enfrentó el mismo reto cuando invadieron el territorio tribus de apaches y comanches: una cultura agrícola-ganadera, urbana, contra una cultura de cazadores nómadas; no se trató aquí de diferencias étnicas; tampoco de cuestiones religiosas, que no desempeñaron un papel muy importante bajo el gobierno liberal. Pero el resultado fue el mismo: durante todo el siglo XIX se libró una franca guerra a muerte que terminó con el exterminio del indio nómada.

La cultura del norte de México es, por exigencias ecológicas, cultura de ganadero, de hombre habituado a hacer prevalecer su voluntad sobre otra voluntad, a domar, a dominar. La agricultura se hace en un medio hostil; la naturaleza da, pero hay que exigirle que dé. El hombre se inserta en la naturaleza porque no puede evitar ser un sujeto ecológico, pero no lo hace de modo fácil; está en ella pero también en contra de ella. Este complejo cultural

tiene que dar por resultado un individuo muy diferente al individuo del México tropical. Quizá sea ésta la razón, por la cual el mexicano de la región central (Guanajuato, Jalisco, Zacatecas) sea el representante tradicional del país; está a caballo entre dos Méxicos, por lo que entiende a ambos... o quizá a ninguno.

VI. LA EVOLUCIÓN DE LA VIDA

ALGO NUEVO BAJO EL SOL

HACE 130 años apareció El origen de las especies; en general los científicos vieron en el libro de Darwin la explicación más lúcida de muchas observaciones biológicas; y para 1900 los profesionales de la biología y muchos pensadores en otras áreas del saber eran evolucionistas convencidos. Sin embargo, para muchas personas con mentalidad religiosa fundamentalista no puede haber compromiso entre la teoría de la evolución y las enseñanzas religiosas tradicionales y se niegan a admitirla aun hoy, cuando es un pilar de la biología moderna. Por ello no es ocioso explicar en unos renglones las pruebas de la evolución.

En su búsqueda de especímenes raros los curiosos del Renacimiento encontraron restos petrificados de seres vivos. El catálogo de fósiles es hoy inmenso y demuestra que hubo formas vivas que ya no existen y que las formas vivas actuales no existían en épocas pretéritas pues no hay fósiles de perros o caballos contemporáneos de los dinosaurios. Al hacer un corte profundo en la tierra se encuentran estratos con fósiles cada vez más antiguos, y conforme el corte es más superficial las formas fósiles son más parecidas, en general, a las de hoy; existen series como la del elefante y la del caballo que muestran la transformación gradual del animal. Todo ello es un fuerte indicio de que las actuales

formas de vida provienen de otras diferentes muy antiguas. La alternativa sería postular que el Creador destruyó y volvió a formar no sólo una, sino muchas veces a todos los seres vivos. La doctrina de una serie muy grande de creaciones sucesivas (no de una sola creación), conocida como creacionismo, terminó por caer en descrédito y ser abandonada de manera general. La creencia en el origen de los seres vivos por una única creación divina siempre ha tenido seguidores; de hecho, modernamente ha habido un resurgimiento de ideas antievolucionistas, sobre todo en algunos grupos religiosos y tradicionalistas de los Estados Unidos.

Además de poeta, Goethe fue filósofo. Al advertir las similitudes en el plan general de construcción de los vertebrados por un lado y de las plantas por el otro elaboró la Naturphilosophie. En ella se plantea que el Creador habría diseñado sendos planes maestros para el animal primordial (Urtiere) y para la planta primordial (Urpflanze), seres que no habrían existido realmente sino como "planos" o esquemas conforme a los cuales se construyen las diversas especies con sus variaciones específicas. Esta teoría fue abandonada pero dio origen a la anatomía comparada. Observando el brazo de un hombre, el ala de un murciélago y la aleta de una ballena, se comprobará que todos los mamíferos tenemos los mismos huesos articulados de manera similar. Esta conformidad con un plan básico indica que deben existir relaciones de parentesco entre todos los mamíferos, por diferentes que sean sus formas y sus hábitos de vida.

El concepto de unidad en la variedad fue desarrollado por Darwin al observar los gorriones y las tortugas de las Islas Galápagos, que presentan rasgos similares que los diferencian en general de los gorriones y tortugas de otros lugares. Sin embargo, observados cuidadosamente, se advierten pequeños rasgos diferenciales de cada isla del archipiélago, y puede identificarse de cuál de ellas proviene el gorrión o la tortuga. Darwin explicó esta variación dentro de la unidad por la descendencia de los animales del

archipiélago de un ancestro común responsable de las características generales. Debido al largo tiempo de desarrollo en ambientes diferentes y con muy pocas posibilidades de cruzamiento en cada isla, la fauna habría adquirido características especiales. Este fenómeno, llamado especiación está ahora bien establecido y tiene un importante papel en el estudio del desarrollo de nuevos tipos de plagas, en el control de insectos y en otros casos de biología aplicada. Es una prueba de que la evolución ocurrió y sigue ocurriendo todavía.

Si se compara la fotosíntesis de los diversos tipos de plantas verdes, incluso algas, o la respiración de células vegetales y animales se podrá certificar que, pese a pequeñas variaciones, el proceso es básicamente igual en todas las células (véase el capítulo I). Las moléculas que intervienen en los procesos de óxido-reducción y transporte de energía por grupos fosforados son las mismas, aunque con pequeñas variaciones en su estructura: flavinas y citocromos aceptan y despiden electrones y átomos de hidrógeno levantando y deprimiendo su contenido de energía; el ATP acepta los fosfatos con alta energía que luego aplica para llevar a cabo los diversos trabajos celulares; todo esto ocurre tanto en las células de un humilde hongo escondido en el bosque como en las células del cerebro de un sabio lleno de honores. Igual ocurre con los mecanismos de reconstrucción celular: el sistema ADN-ARN-proteína opera de igual manera en todas las células vegetales o animales; más aún, el código genético, o sea las señales por las que cada fracción del ARN mensajero se liga a su aminoácido específico para construir la molécula de proteína característica de cada ser vivo (véase el capítulo IV) es el mismo en todas las células. Igual ocurre con la división celular, la herencia de caracteres y muchos otros fenómenos. Esta similitud de mecanismos y moléculas en todas las células no tiene otra explicación lógica que la de que todas ellas provienen de la diversificación de un tipo único de actividad bioquímica que apareció en una época muy remota.

Bastan pruebas aducidas —aunque hay otras— para proponer la evolución como una teoría tan válida y universal como la teoría celular o la genética. Dentro del marco de la doctrina de la evolución existen divergencias de opiniones y problemas difíciles de explicar; también es posible, y así ha sucedido, que las tesis evolucionistas sean revisadas y modificadas. La ciencia no pretende llegar a verdades eternas e incommovibles; por el contrario, para el avance del conocimiento es necesario que toda teoría o interpretación de los hechos deba estar sujeta a revisión; de hecho, no es extraño que los adelantos de la ciencia obliguen a modificar un poco o un mucho los conceptos que anteriormente se tenían como verdad científica, es decir, como explicación lógica de los hechos conocidos hasta ese momento.

De esta forma, la teoría de la evolución no atenta contra la idea de un Creador, pues la ciencia no indaga sobre las causas primeras, solamente trata —en el caso aquí considerado— de establecer si los seres vivos estamos sujetos a cambios en el tiempo, pues esto es evolución, y qué fuerzas o mecanismos causan dichos cambios. Falsamente espíritus religiosos y antirreligiosos —pues en todos los campos hay fanáticos— han creído ver en la evolución una doctrina que afirma al ateísmo. Lo que afirma es que la interpretación literal de la Biblia es incompatible con una concepción racional de los fenómenos; ya que si aceptamos la interpretación literal de la Biblia tendremos que creer que el Sol se mueve alrededor de la Tierra, que el arco iris anuncia el final de la lluvia y que Noé fabricó un barco capaz de recibir por duplicado a representantes de toda la fauna terrestre. Sin duda hay quien lo cree así; sin duda también hay quien cree en la influencia nefasta de Saturno, o en las apariciones de La Llorona, o en el poder de hacer "mal de ojo". El hombre se encuentra aún en evolución.

DARWIN Y EL MONO

La vida de Charles Darwin ocupa todo el siglo XIX (1808-1882), pero su momento de gloria ocurrió en 1859 al publicarse su libro *El origen de las especies*. Como todo gran hombre, Darwin era hombre de su época y como toda gran obra su teoría respondió a su época. Tiempo atrás ya se habían expresado ideas sobre la evolución y conforme aumentaba el catálogo de plantas y animales más se hacía sentir la necesidad de una teoría unificadora que concertara la masa creciente de conocimientos: la evolución era un concepto tan necesario que estaba "en el aire de la época."

Por estos años la industrialización crecía en Inglaterra a pasos de gigante, lo que trajo consigo —entre muchos fenómenos sociales— la explosión de las poblaciones urbanas, el hacinamiento en barrios miserables y la carestía de los alimentos. Esto llevó a Malthus a predecir una catástrofe que no se produjo porque ocurrió también una revolución agraria que aumentó la producción de los alimentos. Este acontecimiento indica lo peligroso de hacer predicciones, pero los profetas del desastre como el Club de Roma, no asimilaron la lección y cien años más tarde volvieron a predecir catástrofes no ocurridas.

Darwin conoció los esfuerzos de los grandes terratenientes ingleses que habían descubierto el método del pedigree para mejorar sus ganados, que es una forma empírica de manipular los genes y obtenían las primeras razas mejoradas de caballos, toros y ovejas. Conoció también la Revolución Industrial y estuvo de acuerdo con Malthus sobre la inadecuación entre el aumento de alimentos y el de la población. Por otra parte, tenía gran acopio de notas tomadas durante su viaje como naturalista alrededor del mundo en el *Beagle*. Había estado meditando sobre estas notas durante casi treinta años. El resultado de sus observaciones y meditaciones fue la teoría darwiniana de la evolución.

Para Lamarck la causa de la evolución radica en el uso de algunos órganos o el desuso de ellos como respuesta del organismo a las presiones que le impone el medio externo. Darwin no se preocupó mucho por establecer las causas de la variación; aceptó el proceso como un hecho de observación, admitiendo al parecer la herencia de los caracteres adquiridos por impacto del medio —su pensamiento aquí no es claro—, pero lo que deseó explicar fue cómo ocurre el proceso originado (véase la obra de Cauley, *Les étapes de la biologie*, Presses Universitaires de France). De manera sintética puede exponerse la teoría de Darwin de la manera siguiente:

a) Librada a sí misma, una especie aumenta en número de individuos y rebasa la capacidad del medio para alimentarla (aquí se aplica la teoría de Malthus); b) la sobrepoblación determina una lucha por la existencia en la que sobrevive el mejor adaptado al medio (Darwin pensó que lo que los criadores hacían en pocos años de esfuerzos razonados para mejorar las razas o especies, la naturaleza podía hacerlo operando a ciegas durante miles de años); c) los más aptos, además de sobrevivir, son los que tienen más oportunidades de aparearse y los que mayor número de crías tienen; así, se opera una selección sexual (esto implica que los caracteres adquiridos se heredan a la prole); d) las variaciones así transmitidas, casi inobservables en cada generación, se irían acumulando a través del tiempo y originando cambios profundos que determinan una evolución de la especie.

La aceptación implícita de la herencia de los caracteres adquiridos iba a causar muchos problemas, pero por lo pronto las disputas fueron de otra índole. La oposición a Darwin surgió de inmediato en el terreno filosófico pues era claro que se veía al hombre también como sujeto de evolución y así lo confirmó Darwin al publicar diez años más tarde *El origen del hombre*. Para la persona religiosa el problema crítico es el del alma, que tradicionalmente se confunde con la racionalidad y la emotividad; en los viejos catecismos se aprendía que las potencias del alma son

memoria, entendimiento y voluntad. Dentro de una posición tradicionalista que considera que la racionalidad del hombre es un atributo de su alma (*anima rationalis*, según Aristóteles), plantear que dicha racionalidad ha sufrido una evolución a partir de los instintos animales equivale a afirmar que el alma viene por evolución de tales instintos. Si se considera que el alma, no obstante los artilugios de la filosofía tomista, es en sentido cristiano un ente metafísico diferente de la inteligencia y que escapa al análisis científico, no hay razón para establecer una oposición básica entre la tesis evolucionista y la doctrina cristiana. Y esto es lo que ha sucedido. Ya no se trata a los locos como endemoniados ni se cree que la causa del histerismo o la esquizofrenia sea el pecado. Por otra parte, las evidencias sobre el proceso evolutivo han obligado a las grandes iglesias cristianas a aceptar, al menos como posibilidad, la evolución, incluyendo al hombre en su ser biológico que es el único que puede estudiar la ciencia.

Es comprensible el rechazo de Darwin tanto por la iglesia católica como por las protestantes. Se ha dicho que nada iguala en trabazón lógica, armonía intelectual y universalidad de explicación al sistema aristotélico-tomista: fue una conjunción del saber de su tiempo, la Biblia y las doctrinas de la iglesia; apelaba a la razón y al sentimiento religioso. En él, la tierra se sitúa en el centro del Universo, rodeada de las esferas cristalinas por las que se deslizan el Sol, las estrellas y los planetas. En la Tierra el hombre, hecho a imagen y semejanza de Dios, reina sobre las criaturas de las que es esencialmente distinto. Es superior a ellas por lo que las leyes naturales que rigen a los animales no rigen al hombre, que tiene su propio código de conducta. Y sobre este Universo armónico, jerarquizado, preside el Todopoderoso, el Omnipotente a quien "la Tierra le sirve de escabel" y a quien todo lo creado canta perennemente *Gloria in excelsis Deo*.

Copérnico y Galileo habían hecho de la Tierra un simple planeta que giraba alrededor del Sol, como los demás; la Tierra ya no era el centro del Universo sino una esferilla rodando por un rincón

del Cosmos. Ahora, con Darwin, el hombre pasaba a ser un descendiente del mono en camino a no sabemos qué superhombre; ya no rey de la creación sino sujeto de la evolución y de la ecología. Sin duda es un trago muy amargo para los espíritus religiosos tradicionalistas, y aún existen reductos en las sectas fundamentalistas para los que la evolución es anatema.

Pero hubo también filósofos que aceptaron entusiasmados el darwinismo. Algunos usaron la evolución para atacar al cristianismo; otros utilizaron las tesis de la lucha por la vida y la supervivencia del más apto para fundar el darwinismo social, doctrina que absuelve los abusos e injusticias sociales del liberalismo extremo explicando que no son sino el reflejo de las leyes biológicas. Hoy día el darwinismo social está bastante desacreditado, con justicia sin duda, aunque hay un poco de verdad en sus tesis.

En cuanto a los científicos, en general vieron en la explicación de Darwin la más coherente y unificadora de los fenómenos biológicos y para fines del siglo XIX los biólogos eran darwinianos y algunos lamarckianos pero todos evolucionistas. Entonces estalló el problema de la herencia de los caracteres adquiridos.

MENDEL Y EL GENE

Un día del año 1865 el monje agustino Gregor Mendel tuvo la idea de cruzar plantas de chícharo en el jardín de su monasterio: cruzó plantas altas con bajas, de semilla verde con de semilla amarilla, de semillas lisas con rugosas. Luego observó a los descendientes y contó cuántos individuos mostraban tal carácter y cuántos mostraban tal otro; como resultado descubrió las leyes de la herencia. El trabajo se publicó, pero por razones discutibles no fue apreciado. Hasta 1900, cuando se descubrió la "Memoria " en una revista científica de escasa circulación, se comprendió su enorme importancia. Diversos investigadores se lanzaron a comprobar las observaciones de Mendel tanto en plantas como en

animales, y Morgan estableció que las "unidades de la herencia" van en los cromosomas y les puso el nombre de genes. En pocos años se desarrolló un cuerpo de doctrina y nació una nueva ciencia, la genética, cuyo desarrollo en los aspectos explicativo, estadístico, molecular, aplicado y evolutivo es en buena parte la historia de la biología en el siglo XX.

En los cromosomas de los gametos existen partículas o secciones (genes) que determinan la aparición de las características hereditarias. Cada gameto del padre o de la madre lleva las características en forma unívoca: "ojos cafés" o bien "ojos azules". Al ocurrir la fecundación y fusionarse los gametos la célula huevo poseerá los genes duplicados "ojos cafés-ojos azules" en algunas características una alternativa domina a la otra, como en el color de ojos, pero otras características pueden aparecer como mezcla de las dos, por ejemplo "flor roja-flor blanca" determina en algunas especies flor rosada. Cuando a su vez el hijo forma gametos los cromosomas se reducirán en número a la mitad y los caracteres que estaban en duplos volverán a quedar en forma unívoca en cada gameto. Al juntarse cromosomas de padre y madre, el hijo hereda todos los genes de ambos progenitores pero en combinaciones que pueden ser diferentes a las de ellos: por ejemplo, puede tener el color de ojos del padre y la forma de la nariz de la madre.

La herencia se determina por factores internos celulares, los genes, y no por los factores del medio en que se desarrolla el individuo: éste es el concepto de línea pura de Johannsen (1903). Un torete Hereford puro que crezca mal nutrido, con parásitos, expuesto al frío o a la lluvia, será un animal desmedrado y débil; sin embargo, si se cruza con una vaquilla igualmente maltratada pero Hereford pura, tendrá un hijo con las características de la raza intocadas y si es bien cuidado y alimentado podrá ser campeón en un certamen, pues los factores del medio afectaron el cuerpo de los padres pero no el contenido genético de los gametos. Los genes corresponden a fracciones de la cadena de ADN.

Este concepto de la herencia repugna a algunas mentes llenas de ideas populistas. Hace cuarenta años en la URSS el agrobiólogo Lysenko clamó contra la "aristocrática e idealista" teoría mendeliana de la herencia y valiéndose de influencias políticas forzó la adopción de una "nueva biología soviética" que no es sino la doctrina darwiniana de adaptación al medio explicada en términos populistas y afirmada en el dogmatismo marxista; este híbrido pseudocientífico retrasó la biología soviética durante veinte años. Hoy esta teoría biológica está desacreditada, pero conviene recordarla pues aún hay personas que elaboran teorías sociales y las aplican si pueden, sustentándolas en el aserto de que todo hombre nace bueno y es el medio social la causa de su distorsión. A este género de confusión entre ciencias sociales y naturales perteneció el casi difunto darwinismo social y su muy viva manifestación actual, la sociobiología. Ambos pretenden fundamentar la ética en la biología, pero "es tan absurdo buscar una explicación de los códigos morales en la evolución, como buscar una explicación de las matemáticas o de la poesía" dice F. Jacob (*El juego de lo posible*, editorial Grijalbo) y prosigue advirtiéndonos contra dos peligros: el cientificismo —para el cual los métodos y conceptos de la biología pueden explicar hasta el detalle todas las actividades humanas— y el moralismo —que rechaza ciertos aspectos de la ciencia porque los juzga peligrosos para las teorías políticas o morales.

El problema realmente científico surgido a principios del siglo XX era muy serio: el darwinismo explicaba la evolución por la heredabilidad de las variaciones que el medio impone al individuo, mientras que la genética demostraba que dichas variaciones (brazos fuertes, piel oscura por el Sol, etc.) no se heredan. No era fácil elegir entre una y otra teoría pues ambas eran de gran valor científico; llevó cincuenta años de esfuerzos conciliarlas pero al fin se han fundido en una teoría basada en hechos de observación: la genética evolutiva, que explica la evolución como se describe en los siguientes párrafos.

En sentido moderno, la selección génica es un proceso que opera con cruel eficiencia, ya que deja vivir a los individuos cuyos genes les comunican caracteres de adaptación al medio y hace perecer a los que carecen de tales genes. Supóngase una especie que lleva genes contrastados de resistencia y susceptibilidad al frío; si caen semillas en un lugar cálido se desarrollarán todas, pero si caen en un lugar de clima frío sólo podrán llegar a florecer y a reproducirse las plantas que heredaron la resistencia al frío, pereciendo las susceptibles. Dado que el gene de resistencia está en un cromosoma donde van también otros genes, todos ellos pasan en bloque a los hijos (ligamiento génico) y la progenie resistente mostrará diferente talla, o flores de otro color o algunas otras características. Así se forman tipos de la especie diferentes en cada sitio (ecotipos), pues lo mismo sucede con respecto a la sequía, la salinidad del suelo, etc. La selección génica no es un factor de evolución por sí misma pues no hace aparecer nuevas características, pero determina la diversificación de tipos biológicos.

La recombinación génica ocurre durante la formación de los gametos y consiste en que los cromosomas del padre y de la madre que forman pareja (homólogos) se colocan uno al lado del otro, se entrecruzan e intercambian pedacitos de sus cuerpos respectivos. Entonces el ligamiento que existía entre varias características se rompe y aunque la recombinación no cambia los genes, determina nuevas combinaciones de ellos y por tanto individuos con aspecto un poco diferente al usual.

La hibridación conjunta los genes de dos individuos al fecundarse dos ecotipos o aun especies diferentes. En muchos casos los híbridos interespecíficos son estériles, como la mula, pero en otros casos son fértiles. Al correr del tiempo un híbrido interespecífico puede cruzarse con otro, llegando así a formarse plantas o animales con características tales que se puedan considerar como una nueva especie. Esto podría tomar muchísimos años pues la hibridación solamente ocurre entre especies de estrecho parentesco:

los perros con cabeza de gato pertenecen al reino de la fantasía o al periodismo lucrativo.

La poliploidia ocurre cuando al formarse los gametos no se reduce a la mitad el número de cromosomas. Cuando un gameto con los cromosomas dobles (diploide) se une a otro gameto normal se origina un huevo con triple juego de cromosomas (triploide), como ocurre a veces en los insectos. En las plantas que se autofecundan es más común que ambos gametos sean diploides, originándose así un tetraploide. Los poliploides son en general más fuertes y grandes que los diploides normales: el trigo ancestral, que ya no se siembra, pero existe, es un diploide, los trigos duros y "barrigones" son tetraploides y el trigo harinero es hexaploide.

La mutación es un cambio brusco en los cromosomas de los gametos que va a determinar un "salto", un cambio más o menos notorio en la apariencia del individuo, que por ocurrir en las células sexuales será hereditario. La causa puede ser algún agente químico o las radiaciones de alta energía (rayos gamma, rayos X). Los canarios amarillos y los conejos de Angora, etc., son mutaciones de los comunes canarios grises y de los conejos de pelo corto.

Todos estos mecanismos interactúan y se superponen en la naturaleza: un individuo puede cruzarse con otra especie; por selección genética de la progenie perdurarán solamente los de cierto tipo híbrido; sin duda en las generaciones posteriores ocurrirán recombinaciones génicas y de tarde en tarde mutaciones que al acumularse acentuarán las diferencias. Imaginar que de esta manera se originó el caballo a partir de un animal un tanto parecido a un perro en el transcurso de miles de siglos no es muy difícil; imaginar que en la amiba ancestral estaban presentes los genes que conforman al elefante exige la imaginación de Julio Verne. Pero este juicio a menudo expresado por los antievolucionistas es una falacia: lo que estaba en la amiba primordial era la capacidad de que se desarrollaran los genes del elefante, y en efecto, en

ambos animales la herencia va en las cadenas de ADN que operan con idéntico código genético y ambos están sujetos a los mismos fenómenos de genética evolutiva.

"Para efectuar trabajos todo lo que el hombre puede hacer es poner juntos o separados los cuerpos naturales, el resto es hecho por el trabajo interno de la naturaleza", decía Francis Bacon. El hombre utiliza los procesos de genética evolutiva para tener nuevas variedades de plantas y animales formadas por hibridación y selección; induce mutaciones en los insectos para que sean estériles, controlando plagas agrícolas; induce poliploidía en algunos cultivos. En nuestros días, a las técnicas ya tradicionales citadas se agrega la ingeniería genética y la embriología aplicada, que permitirán al hombre mejorar su propia especie. Esta tecnología ha provocado conflictos ideológicos pues involucra aspectos humanos fundamentales. ¿Tenemos derecho a cambiar las características de un individuo en nombre de la especie? ¿Tenemos derecho de imprimir en una persona y en su progenie características que juzgamos ventajosas? ¿Quién será el responsable de llevar a cabo tal acción? ¿Y quién le ha conferido tal derecho?

Es explicable que muchas iglesias protesten con vehemencia, pues la manipulación genética interfiere con los conceptos tradicionales sobre la libertad y dignidad del hombre. Lo que no es razonable es que durante largos años hayan basado gran parte de su doctrina en la impotencia del hombre para intervenir de modo profundo en otros aspectos, viendo esto como una prueba de la pequeñez humana. Pero hoy que la ciencia se apresta a hacer células vivas a partir de lo inanimado y cuando es una posibilidad manipular el desarrollo embrionario y genético, se trata de prohibir este campo de la investigación porque se dice que es contrario a la doctrina religiosa. Es una petición de principio que indica un temor a enfrentar problemas de cambio social mayores a los que en su tiempo trajo consigo la teoría de Copérnico y más tarde la de Darwin.

VII. LA FINALIDAD DE LA VIDA

¿CÓMO EMPEZÓ LA VIDA?

DE ACUERDO con Aristóteles, la Edad Media creyó en la generación espontánea; aún quedan personas en muchos países que creen que las lombrices se forman del lodo y que al descomponerse los alimentos engendran "gusanos" (larvas). En 1750 ocurrió una disputa histórica entre Needham, en pro de la generación espontánea, y Spallanzani en contra de ella; pero no se llegó a una solución. De paso, debe advertirse que ambos adversarios eran clérigos y no obstante se sintieron libres para tomar cualquier posición; creer que los seres vivos pueden provenir de la materia inanimada, o no, se juzgaba un asunto puramente científico; por qué razón se le da ahora una trascendencia religiosa o teológica es incomprendible para mí.

Aunque Pasteur estableció en 1875 la no existencia de la generación espontánea, los biólogos siguieron suponiendo que los primeros seres vivos se habían originado de la materia inanimada bajo condiciones no conocidas. En 1935 Oparin emitió una hipótesis plausible basada en las reacciones entre gases del tipo del metano y del amoníaco en presencia de vapor de agua a muy altas temperaturas. Años después se comprobó la hipótesis por Miller y Urey, quienes construyeron un aparato que imita las condiciones de la Tierra primitiva, con gran actividad volcánica; en este aparato se formaron aminoácidos diversos, urea y las bases nitrogenadas del ADN que forman el código genético que une a los aminoácidos para hacer proteínas (véase, capítulo IV. El programa vital, apartado "Información para la vida") y se comprobó la hipótesis de Oparin. Ahora se han podido sintetizar protenoides capaces de ser atacados por enzimas y asimilados por microorganismos; en algunos casos incluso han mostrado propiedades en-

zimáticas catalizando reacciones (Cuénot et al., Evolución, marxismo y cristianismo, Plaza y Janés). Otra importante aportación es la teoría de Egami sobre la síntesis simultánea de las bases del ADN y de correspondientes grupos de aminoácidos (Mundo Científico, vol. 1 núm. 8); también se ha estudiado la variación de moléculas como el citocromo en diversas células, la cual señala la evolución de ellas (Scientific American, marzo de 1980). Así, se ha demostrado que existen fuerzas y leyes químicas que dirigen las reacciones y que es falso el concepto de que la aparición de las proteínas se debió al azar, idea a la que se opuso Leconte de Nouy. A continuación se narran los principios de la evolución prescindiendo de los argumentos científicos que apoyan el relato; debe tenerse en cuenta, por una parte, que no es un cuento de hadas o de ciencia ficción, y por otra parte, que es una hipótesis que puede sufrir modificaciones al avanzar el conocimiento.

En los principios de la formación de la Tierra la atmósfera carecía de oxígeno y abundaba en gases del tipo del metano y el amoniaco, producto de la actividad volcánica; también era abundante en vapor de agua por la intensa evaporación de los mares. En estas condiciones era incesante la formación de nubes y la ocurrencia de tormentas eléctricas; la energía de los rayos y la irradiación solar, muy intensas, posibilitaban la reacción del metano con gases amoniacaes, originándose así compuestos nitrogenados como aminoácidos, urea y otros.

La lluvia llevaba estas moléculas de la atmósfera al mar, donde se dispersaban y descomponían, pero las lagunas costeras pudieron funcionar como un refugio donde los compuestos nitrogenados podían concentrarse y aumentar la probabilidad de reaccionar entre sí. Aquí pudo ocurrir la síntesis simultánea de las bases del ADN, cada una con su correspondiente grupo de aminoácidos. Se formarían así polipéptidos y proteínas sencillas (no al azar, sino ya conforme a un código químico del ADN), algunas de las cuales bien podrían reaccionar con las sales disueltas en el agua inte-

grando a la molécula metales como hierro, cobre, etc. Estos átomos son capaces de oxidarse y reducirse al aceptar y despedir hidrógeno y electrones; al integrarse a la proteína la convertirían en una enzima capaz de transportar energía. Este conjunto de moléculas de gran actividad química en las lagunas costeras que recibían energía calórica y lumínica del Sol ha sido llamado de manera poco académica pero muy plástica "sopa caliente".

En general las moléculas en la sopa caliente tenderían a aumentar su tamaño, sea por crecimiento químico o polimerización o por unión química con otras moléculas o por mera conjunción física. Por su propio tamaño las proteínas formarían sistemas coloidales y al conjugarse las micelas coloidales darían lugar a "gotitas" o "granulitos" coloidales (coacervados) con gran actividad química. A partir de este momento, antes de que apareciera la vida, empezó a operar la lucha por la existencia, la evolución prebiológica, pues los coacervados con mayor capacidad de reacción prevalecían sobre otros coacervados menos catalíticos o más fáciles de desintegrarse. Al fundirse entre sí las "gotitas" de coacervado coloidal y aumentar su tamaño por síntesis y polimerización deben haber ido apareciendo fenómenos químicos, por lo que los coacervados pudieran ya recibir el nombre de precélulas. La vida fue apareciendo en la Tierra con pasos imperceptibles.

Las precélulas deben haber sido sistemas coloidales limitados por una membrana, más pequeños y sencillos que una bacteria actual; una masa de protoplasma sin núcleo ni orgánulos, constituida por proteínas estructurales y enzimáticas y por cadenas de ADN o ARN. A pesar de su sencillez, los sistemas vivientes mostraban tres rasgos fundamentales. Eran capaces de obtener energía por fermentación, pues contenían moléculas de citocromo y sintetizaban ATP. Mostraban un cierto tipo de heterotrofia, pues agregaban a su cuerpo moléculas y partículas de materia más o menos similar a la suya. Eran capaces de asimilar aminoácidos para autorreproducir su estructura formando proteínas con su ADN o ARN, que operaba con uno o quizá varios tipos de códigos, in-

cluido el que aún existe. Su multiplicación era tal vez mera fragmentación por impacto del medio.

De las precélulas se originaron las primeras células procarióticas (sin núcleo), similares a las bacterias de hoy y de las que quedan huellas fósiles de unos dos mil quinientos millones de años de antigüedad. Algunas de estas células han quedado hasta nuestros días; tienen sistemas bioquímicos capaces de derivar energía de una reacción básica de oxidación, como las bacterias ferrosas, sulfurosas y nitrificantes; otras desarrollan moléculas y sistemas capaces de aprovechar la energía de la luz; apareció así la fotosíntesis. A partir de entonces la atmósfera empezó a tener oxígeno (en la fotosíntesis se produce este gas), lo que hizo posible la formación de sistemas de respiración aerobia, que es mucho más eficiente que la fermentación con respecto a la utilización de la energía, por lo que casi todas las células actuales —todas las de las plantas y animales superiores— son aerobias. El desarrollo fue sin duda muy lento: muchas formas de vida deben haberse ensayado y desaparecido por competencia y selección y sólo mil millones de años más tarde aparecieron las primeras células eucarióticas, con núcleo y organillos. Fue también en ese lentísimo proceso de evolución celular cuando debieron haberse ido desarrollando procesos de reconocimiento mutuo a base de moléculas que aún perduran en las células actuales, a veces quizá sin función ya (véase en el capítulo II, La materia viviente, el apartado "Las moléculas del ensueño").

Las células eucarióticas tienen sus cadenas de ADN encerradas en un corpúsculo esferoidal, el núcleo; también la clorofila, cuando existe, se organiza en cuerpecillos de color verde, los cloroplastos, y las enzimas respiratorias en otros cuerpecillos, las mitocondrias. Así pues, la célula eucariótica tiene, en general, los mismos tipos de moléculas que la célula procariótica, pero en los eucariotes los sistemas del metabolismo celular se alojan en organillos ad hoc y esta compartimentación determina mayor eficiencia en el trabajo. Las células que forman el cuerpo de los

seres pluricelulares, plantas o animales son todas eucarióticas.

Existen dos hipótesis sobre la evolución de la célula procariótica a eucariótica. La hipótesis de la complejidad creciente sostiene que a lo largo de los milenios algunos procariotes fueron sufriendo invaginaciones de la membrana celular que terminaron por cerrarse del todo y aislarse formando un "globillo" dentro de la célula donde se encerraban ciertas enzimas; también pudieron ocurrir mutaciones que determinaron la formación de una membrana en derredor de las cadenas de ADN. Esta característica dio mayor independencia del ambiente a los genes, mayor protección a cambios y por tanto una autorreproducción más fiel, por lo cual su descendencia no sólo perduró sino que fue prevaleciendo sobre las formas que tenían el ADN más fácilmente sujeto a cambios y accidentes.

Otra hipótesis es que los eucariotes se formaron por un proceso semejante a la simbiosis (unión de organismos para mutuo provecho, como la de un hongo y un alga para formar un líquen). Una célula procariótica pudo haber aceptado un "núcleo", es decir, cadenas de ADN recubiertas por una membrana; al paso de no mucho tiempo estas cadenas mejor protegidas terminarían por "tomar el mando" en la masa protoplásmica. Igualmente, un eucariote sin clorofila pudo conjugarse con una "precélula" con clorofila que pasaría a conformar un cloroplasto; o bien pudo conjugarse con una "precélula" con equipo para respiración aerobia que vendría a constituir una mitocondria. Uno de los soportes de esta teoría es que los cloroplastos y las mitocondrias de las células de las plantas actuales tienen su propio ADN, lo que hace pensar que alguna vez pudieron existir y reproducirse aislados, como procariotes. Sin duda muchas uniones fracasarían pero las que quedaron efectuarían las funciones vitales con mayor eficiencia que los procariotes e irían prevaleciendo. Según los datos geológicos, se necesitaron mil millones de años para desarrollar este proceso, tiempo sobrado para hacer muchos ensayos.

Algunos eucariotes, tanto autótrofos con clorofila como heterótrofos sin ella, formaron agregados celulares: son los seres coloniales, cada una de cuyas células es un individuo capaz de vivir por sí mismo pero que tiende a vivir en asociación con otras células iguales —recordemos las moléculas de reconocimiento. La transición de organismos unicelulares a coloniales y de coloniales a pluricelulares ha sido bien estudiada sobre todo en una línea de algas verdes.

Parece sorprendente, incluso absurdo, que las leyes básicas de la biología aparecieran cuando aún no había vida. Sin embargo, es razonable pensar que en el momento en que los materiales inertes empezaron a tomar la organización fisicoquímica de los organismos vivos, por determinismo científico empezaron a mostrar características propias de éstos aunque aún no existieran células bien conformadas. A la luz de los conocimientos actuales es indudable que en "la sopa caliente", en las gotitas coloidales donde ocurría la síntesis simultánea de aminoácidos y ADN, debieron ocurrir ipso facto síntesis de polipéptidos y proteínas simples y sin duda, debido a la gran irradiación solar, ocurrir mutaciones y fenómenos de interacción génica y de hibridación al fusionarse precélulas con diferencias en su ADN; para decirlo gráficamente, desde esta hora empezaron a diferenciarse las amibas de los elefantes.

También ocurrieron a nivel precelular fenómenos ecológico-evolutivos de "predación" al englobar las gotitas mayores a otras menores, de competencia por alimento, pues las precélulas o gotitas coloidales incorporaban a su cuerpo los aminoácidos del medio y de selección del más apto por las características del ADN (véase la obra de R. Dawkins, *El gen egoísta*, Salvat).

En realidad la vida de la célula semeja en muchos aspectos la vida en un campo ecológico. Cada molécula tiene en la célula su propio lugar, su "nicho ecológico", que determina sus interacciones con otras moléculas. Hay moléculas que se ligan temporal-

mente a otras para lograr un fin en una relación que pudiera aproximarse a la simbiosis o al comensalismo; diversas clases de enzimas compiten por un mismo sustrato como diversas especies por un alimento; algunas moléculas bloquean o rompen a otras, y en muchos casos (como el equilibrio entre auxinas e inhibidores) una molécula interrumpe la vía de síntesis de otra diferente reforzando la conversión del sustrato en moléculas de su propia especie química. En la célula los caminos metabólicos se entrecruzan formando una trama de la vida que algún "citoecólogo" debería estudiar con métodos de biólogo molecular y conceptos de biólogo de campo.

Desde otro punto de vista la consideración del origen de la vida enseña otra lección. En la actualidad coexisten formas de vida muy primitivas con otras relativamente recientes de mucha mayor eficiencia y complejidad. En una charca se pueden encontrar algas procarióticas, protozoarios eucarióticos, algas eucarióticas coloniales y pluricelulares tan complicados como peces y ranas. En cualquier suelo existen aún bacterias quimiosintéticas semejantes a las que iniciaron la vida. Para que las formas de vida superiores se desarrollen no es preciso que destruyan a las formas inferiores; en realidad cabría preguntarse si es inferior una forma de vida cuyo prototipo se inició hace dos mil quinientos millones de años... y aún existe. Pero algunas personas persisten en creer que para desarrollar una cultura moderna necesitan aplastar a las primitivas. Y otros —¡Dios nos proteja!— quisieran retrotraernos a culturas que a ellos mismos son extrañas.

¿A DÓNDE VA LA VIDA?

Los materialistas del siglo pasado y los rezagados del presente sufrían náuseas con sólo oler a Aristóteles, y en su reacción contra el finalismo, justificable en un principio, llegaron al absurdo de afirmar que la evolución carece de un sentido de complejidad

orgánica y eficiencia funcional. Sin duda, un organismo puede ser simple y sin embargo muy eficiente por su adaptación al medio, como un parásito intestinal; pero se necesita toda la terquedad y los recursos sofisticados de un académico para negar que un erizo de mar es más complejo que una ameba y un perro más complejo que un erizo de mar. Esta gradación de los organismos se debe a la supervivencia del más apto en el libre juego de la selección natural, como se discutió en el capítulo VI.

Tan evidente es el sentido ascendente de la evolución que pronto surgió una escuela que postulaba la existencia de una ley biológica por la cual el organismo posee la tendencia natural a un estado de mayor aptitud biológica. Esta escuela, llamada de la evolución ortogénica, tiene puntos de contacto con los conceptos de Bergson sobre la *évolution créatrice* y con los de Weissmann sobre el plasma somático (cuerpo del individuo) y el plasma germinativo (células reproductoras del individuo). Según Weissmann, el plasma germinativo es un principio inmortal pues del gameto fecundado o fecundante surge un nuevo individuo que llevará gametos que a su vez originarán otro individuo: las células sexuales se perpetúan, las somáticas mueren. Desde Adán hasta el final de los tiempos habrá muchos miles de generaciones muertas pero siempre habrá unas células reproductivas que saltan, por así decirlo, de un cuerpo a otro, constituyendo el "cuerpo" de la especie.

Weissmann elaboró sus conceptos al inicio del siglo, pero han sido en cierta forma reinterpretados y puestos al día por Dawkins, quien considera que el gene no tiene otro propósito que el de sobrevivir: para ello está constituido molecularmente y si se encuentra en un medio idóneo su actividad inmediata e ineludible es autoduplicarse. En su afán de supervivencia ha desarrollado, mediante mecanismos evolutivos, "máquinas de supervivencia" que fueron los cuerpos celulares primero y luego se perfeccionaron en los cuerpos de organismos cuyo único propósito es facilitar la supervivencia del gene inmortal. Como sucedió con el dar-

winismo social, los conceptos de Weissmann pueden ser llevados a la sociopolítica como pretexto para sacrificar a los individuos a los propósitos de la especie, representada según el caso por la raza, la nación o aun la clase social.

Pero ¿hay "algo" más atrás de estos mecanismos de perpetuación de la especie? ¿No hay solución para el problema de mi desaparición? Y la vida toda, el cortejo evolutivo de las generaciones de plantas y animales, ¿todo ello para nada? ¿Para que al final la Tierra ruede sola en un Cosmos que nadie advierta que exista... si es que se puede existir cuando no hay observador alguno? Son preguntas que escapan a la ciencia porque al ir más allá de los hechos observables se entra, literalmente, en la metafísica. Pero son preguntas tan importantes que el hombre se las ha planteado, a juzgar por pinturas y restos funerarios en las cavernas, desde que empezó a ser Homo sapiens. Tratemos pues de contestarlas al menos hasta el límite en que pueden hacerse hipótesis más o menos científicas. Queda claro que las hipótesis a continuación son solamente intentos de explicar, de diversas maneras, un problema que es ajeno a la ciencia experimental. Pero estamos ya lejos del desprecio positivista por las hipótesis, y la física teórica y la cosmología han hecho reconsiderar el valor de las construcciones mentales en el camino a la verdad.

Un importante científico, Jaques Monod, se declara definitivamente en contra de la existencia de algo más: lo único que habría tras los mecanismos evolutivos es el "azar y la necesidad", el libre juego de las variaciones genéticas dentro de la invariancia básica del sistema ADN-ARN y la presión inmisericorde del medio como un agente de selección. En su libro El azar y la necesidad (Seix Barral), Monod revisa brevemente las teorías que proponen una finalidad a la evolución desde Bergson hasta Teilhard; las llama teorías "animistas" y en alguna forma este nombre implica el desdén con que las considera. Tampoco trata mejor al materialismo dialéctico ni a Engels. Quizá su posición es extremista pero hay mucho de verdad cuando dice: "... las sociedades

modernas han aceptado las riquezas y poderes que la ciencia da, pero no han aceptado, apenas entendido, su mensaje: la definición de una nueva y única fuente de verdad, una revisión total de los fundamentos de la ética... el mal del alma moderna es esta mentira (la enseñanza de la moral tradicional de Occidente y del materialismo dialéctico en las sociedades marxistas) en la raíz de su ser moral y social".

Al no existir ninguna fuente del bien ni del mal Monod propone al hombre como único poseedor de los valores y ahora "calibra el terrible poder de destrucción (de la ciencia) no sólo de los cuerpos sino de la misma alma". Y termina su libro con palabras terribles "...el hombre sabe al fin que está solo en la inmensidad indiferente del Universo de donde ha emergido por azar. Igual que su destino, su deber no esta escrito en ninguna parte. Puede escoger entre el Reino y las tinieblas".

François Jacob participó con Monod del Premio Nobel por su trabajo sobre la represión génica. También son copartícipes hasta cierto punto en otro orden de ideas: "La biología ha demostrado que detrás de la palabra vida no se esconde ninguna entidad metafísica. El poder de producir estructuras de complejidad creciente e incluso de reproducirse es intrínseco a los elementos que contiene la materia." Pero Jacob niega rotundamente que seamos meros productos del azar: "el tiempo y la aritmética niegan que la evolución se deba exclusivamente a una sucesión de microacontecimientos y a mutaciones sobrevenidas al azar" y señala sabiamente que la evolución ha sido posible porque existen niveles de integración y que "en cada nivel de organización aparecen nuevas características y nuevas propiedades lógicas".⁵

Dawkins va aún más allá (aunque sus ideas a veces parecen un tanto confusas y su lógica algo incierta, como sucede con muchos ecólogos y etólogos) al desarrollar la explicación siguiente. En la

⁵ F. Jacob, *La lógica de lo viviente*, Salvat.

sopa caliente se formaban de continuo "premicrobios" o "precélulas" consistentes en proteínas coloidales conservadas con propiedades enzimáticas; algunas poseían moléculas fotosintéticas, otras podían efectuar oxidaciones de sales químicas, otras tenían respiración aerobia. Entre estos "premicrobios" había algunos constituidos por bandas de ADN sin cubierta o con muy tenue cubierta de protección; a estas partículas Dawkins los denomina "reproductores". Los reproductores fueron construyendo "máquinas de supervivencia", es decir, estructuras que les daban protección, energía y eficiencia general; primero "precélulas", luego células, luego cuerpos hasta llegar, con eficiencia creciente a cada paso, a construir el organismo humano por medio de órdenes químicas adecuadas. En este nivel aparece un tipo nuevo y diferente de reproductor: son las ideas básicas que mantienen y reproducen la cultura; son producto de las células nerviosas pero nos dan la capacidad única, específica, de desobedecer las órdenes químicas de mera supervivencia del reproductor o ADN: "... sólo nosotros (los humanos) en la Tierra podemos rebelarnos contra la tiranía de los reproductores (genes) egoístas." ⁶

Una de las concepciones más unificadoras y hermosas es la de Pierre Teilhard de Chardin. No es fácil sintetizar a Teilhard en diez renglones, su pensamiento es profundo y a veces complicado y su lenguaje tan personal y cargado de intención filosófica o teológica que a veces elude o dificulta una cabal comprensión de su significado. A riesgo de simplificar en exceso y reduciendo la explicación al tema de la finalidad de la vida expondremos algunas de sus ideas.

Para Teilhard no existe una real diferencia entre la materia inanimada y la animada y todo cuanto existe sobre la Tierra deriva por estructuración de un tipo de corpúsculos. La ley fundamental de la materia es la de la complejidad-conciencia. El significado de complejidad (Teilhard le llama complejificación) es fácilmen-

⁶ Dawkins, *El gran egoísta*, Salvat

te comprensible: la materia tiende de modo esencial a formar estructuras cada vez más complejas (no se niega la segunda ley de la termodinámica pues esto ocurriría invirtiendo parte de la energía universal): las partículas subatómicas se integran en átomos, los átomos en moléculas, éstas en agregados moleculares uno de cuyos tipos más estructurados sería la célula, las células en organismos que van de lo sencillo a lo complejo hasta el hombre. Por ello Teilhard asienta que la vida supone, exige, la previda: la evolución no es pues un fenómeno biológico sino físico, común a todo tipo de material. El término conciencia en el lenguaje de Teilhard es de difícil comprensión y tal vez un sinónimo sería "conducta autónoma". Conciencia es el modo de ser de cada cosa material, su espontaneidad (sinónimos del propio filósofo) o en cierto modo su improbabilidad en lenguaje científico. En las formas inanimadas más simples la conciencia de la materia es casi nula: no hay espontaneidad sino total sujeción a las leyes naturales que norman su conducta; poco a poco la conciencia va en aumento al complicarse la materia y los seres vivos tienen ya un proceder autónomo, poco predecible por ser muy espontáneo o improbable; y así se llega al hombre que en su "interior" (concepto y término muy peculiar de Teilhard), en su psiquismo, en su más íntimo yo, es libre.

El ascenso en la complejidad es simultáneo al ascenso en la conciencia; ambos conceptos son tan indisolubles como el espacio-tiempo en la física moderna. Conforme la materia recorre la escala de la complejidad-conciencia se van formando estructuras primero inanimadas y luego animadas que son no solamente más complicadas sino también más autónomas. Por esta "libertad interior" las estructuras van accediendo a niveles de integración diferentes y aparecen propiedades nuevas que no se encuentran en los niveles inferiores; así, de la unión del cloro, gas venenoso y del sodio, inflamable y muy tóxico, se forma la sal de cocina; así también de una integración de moléculas por sí mismas inertes surgió la vida en las células primordiales y al estructurarse de

cierta manera las células se integra un organismo. De esta manera se llega al hombre; para Teilhard no se trata de un organismo más, sino del paso a un diferente nivel de complejidad-conciencia en el cual surge el pensamiento lógico, la reflexión, la conciencia plena; y en su "interior" la libertad y la autonomía máximas: tal es el fenómeno humano.

En su concepto básico de que no hay diferencia fundamental entre la materia animada y la inanimada, sino que todo radica en la estructuración de los elementos, la teoría de Teilhard se unifica con la explicación actual sobre el origen de la vida. El concepto de niveles integrativos tiene muchos puntos de contacto con los conceptos de los actuales biólogos organicistas que han reaccionado contra el reduccionismo extremo de la biología de hace cincuenta años.

Como científico —fue paleontólogo de renombre, descubridor del "Hombre de Pekín"—, Teilhard se adscribe a la evolución ortogénica, pero su visión va mucho más allá. Considera que la ley de la complejidad-conciencia no opera solamente hasta el nivel estructural del individuo humano sino que lleva a los individuos a un nivel de integración superior, el de especie humana y más aún, llevará a la especie toda a su punto final, el punto omega, vertedero final de toda vida. En la concepción de Teilhard, Dios ha dotado a la materia de un impulso de perfección, de inmersión en el infinito que se alcanza ahora solamente en el nivel del hombre-individuo pero que en el futuro próximo será alcanzado por el hombre-especie: "perecemos todos o nos morimos todos". De esta manera, el hombre recoge, por así decirlo, toda forma de vida anterior a él —en sentido de complejidad— y la lleva a una vida infinita. Se tiene así un sentido último para el individuo, para la humanidad entera y para toda la creación (P. Teilhard de Chardin. El fenómeno humano, Taurus).

Teilhard representa para la iglesia católica un impulso de acordar las enseñanzas religiosas con los conocimientos científicos mo-

dernos. Una labor similar efectuó Tomás de Aquino al "cristianizar" a Aristóteles fundando una filosofía que ha sido la oficial de la iglesia durante seis siglos pero que hoy no puede sostenerse ante el impacto de la ciencia. El Teilhard jesuita, metafísico y cristiano queda fuera de la consideración de un libro que sólo ha querido dar una explicación superficial de cómo viven las plantas y ofrecer algunas reflexiones sobre la vida del hombre. Pero si vamos a reflexionar sobre la vida ¿cómo evitar la reflexión sobre la muerte? Si vamos a considerar el porqué y para qué de los fenómenos vitales, ¿cómo eludir el preguntarnos el porqué y para qué de la vida del hombre? Estas preguntas no se pueden responder con experimentos ni mediante las ciencias naturales, pero tampoco deben responderse necesaria y exclusivamente por la fe ciega: pueden ser objetos de una búsqueda por el pensamiento filosófico.

No podemos tener pruebas científicas sobre problemas metafísicos; la metodología científica se ha elaborado para otro tipo de búsqueda intelectual. Sintámonos pues libres para tomar cualquier opción. Podemos creer que somos producto del azar y que ni yo, ni mis logros, ni mi especie trascenderá en alguna forma; entonces realmente Macbeth tenía razón: *life is... a tale, told by an idiot, full of sound and fury, and signifying nothing.*⁷ Podemos pensar que no somos más que una máquina de sobrevivencia de los genes: mi vida no tiene quizá mucho sentido, pero en los hijos y en los hijos de los hijos, en el futuro tal vez se encuentre la paz y la felicidad; y estaré yo de alguna manera pues estarán algunos de mis genes; una sombra que se va difuminando a cada generación... "¿Qué es la vida? una ilusión, una sombra, una ficción... que toda la vida es sueño y los sueños, sueños son."⁸ Pero también podemos acogernos a la visión más consoladora de Teilhard

⁷ La vida es un cuento dicho por un idiota, lleno de ruido y de furia, y que no significa nada. (*Macbeth* de Shakespeare).

⁸ Calderón de la Barca: *La vida es sueño*.

de Chardin en la que se acuerdan la ciencia moderna, esfuerzo y aventura de la cultura occidental, y nuestra tradición filosófica; porque si bien el meollo de la proposición teilhardiana es el proceso evolutivo universal, en ella sigue resonando la voz de Agustín de Hipona que viene de la época en que la noche de la caída de Roma presagiaba el amanecer de Occidente: feciste nos ad te, et inquietum est cor nostrum donec requiescat in te.⁹

-<<>>-

⁹ Nos hiciste para ti y nuestro corazón está inquieto hasta que descansa en ti.

CIENTÍFICOS Y FILÓSOFOS ALUDIDOS EN EL TEXTO

Agustín (345-430). Obispo de Hipona. Filósofo; padre de la iglesia de inspiración platónica.

Aquino, Tomás de (1225-1274). Filósofo italiano. Concilió el pensamiento de Aristóteles con el pensamiento cristiano; su obra condicionó el pensamiento lógico y científico por muchos siglos.

Aristóteles de Estagira (384-322 a C.). Filósofo y naturalista griego. Su filosofía inspiró el pensamiento europeo durante toda la Edad Media. Por su obra en ciencias naturales se le ha llamado el padre de la Biología.

Bacon, Francis (1561-1626). Filósofo inglés. Fundamentó el empirismo científico, analizó las causas de error y destacó el poder que da al hombre el conocimiento de la naturaleza.

Bayliss, William M. Véase Starling, E.H.

Bergson, Henri (1859-1941). Filósofo francés para quien la evolución biológica no puede ser explicada conforme a Darwin sino por un impulso vital (élan vital) que guía a un fin que en último término es Dios.

Boussingault, Jean B. (1802-1887). Químico francés que estudió la nutrición de las plantas, sobre todo de nitrógeno y la fijación del nitrógeno atmosférico por las leguminosas.

Brown-Séquard, Charles (1817-1894). Médico francés. Demostró la función reguladora de las glándulas suprarrenales. Se le considera el fundador del concepto de secreción interna (endocrinología).

Copérnico (Koepernick), Nicolaus (1473-1512). Astrónomo polaco autor de un sistema heliocéntrico del Sistema Solar, en oposición al sistema geocéntrico de Ptolomeo que fue la base del

saber astronómico durante muchos siglos.

Darwin, Charles (1809-1882). Naturalista inglés. Su teoría de la evolución es uno de los fundamentos de la biología moderna.

De Saussure, Nicholas-Theodore (1767-1845). Químico francés. Efectuó el análisis de los cambios que ocurren en el aire durante la fotosíntesis en 1804.

Dioscórides (ca. 60 d. C.). Médico y botánico griego; describió más de 600 plantas haciendo hincapié en sus propiedades farmacológicas.

Egamí, Fujio (contemporáneo). Bioquímico japonés autor de una hipótesis sobre el nacimiento simultáneo de las bases de los nucleótidos, de los aminoácidos y del código genético que inició la vida en la Tierra.

Galileo Galilei (1564-1641). Físico y astrónomo italiano. Fundamentó el Sistema Solar de Copérnico de modo que poco a poco fue sustituyendo al ptolomeico en todos los centros del saber.

Goethe, Johann Wolfgang (1749-1832). Ilustre escritor alemán. Autor de una teoría biológica encuadrada en la escuela de la "filosofía de la naturaleza" (Naturphilosophie).

Hayflick, Leonard (contemporáneo). Biólogo norteamericano estudioso del problema de la inmortalidad de las células cultivadas in vitro.

Ingen-Housz, Jan (1730-1799). Médico y biólogo holandés descubridor de la fotosíntesis al advertir que las plantas "respiran al revés de los animales durante el día e igual que ellos en la noche".

Jacob, François. Véase Monod, J.

Johannsen, Wilhelm (1857-1927). Biólogo danés. Comprobó que los cambios causados por el medio en una línea genética pura no son heredables.

Lamarck, Jean Monet de (1744-1829). Zoólogo francés, propuso el uso y desuso de los órganos como causa de evolución, antes que Darwin.

Lavoisier, Antoine-Laurent (1743-1793). Francés; fundador de la química moderna. Efectuó importantes experimentos sobre la combustión y la respiración.

Lecomte de Nouy, Pierre (1893-1947). Científico francés de vasta cultura, escribió varios libros sobre la filosofía de la ciencia, especialmente de la biología.

Liebig, Justus (1803-1878). Químico alemán. Estudió con profundidad las relaciones nutricias de las plantas con el suelo.

Malthus, T. Robert (1766-1834). Inglés estudioso de la economía política, autor de la doctrina de que una población crece en relación geométrica y su subsistencia en relación aritmética, lo que causará conflictos.

Medawar Peter B. (contemporáneo). Científico inglés; ha realizado trabajos experimentales en patología (anticuerpos); ha escrito libros sobre la filosofía de la ciencia.

Mendel, Gregor (1822-1884). Monje polaco; su "Memoria sobre la herencia de algunas características en el chícharo", descubierta en 1900, es la piedra angular de la genética.

Miller, Stanley (contemporáneo). Norteamericano. Famoso porque en colaboración con Urey armó un aparato relativamente simple con el que demostró experimentalmente la teoría de Oparin sobre el origen de la vida.

Monod, Jacques (contemporáneo). Biólogo francés. Con F. Jacob es autor de la teoría sobre la represión de la acción genética conocida como teoría del operón.

Morgan, Thomas H. (1866-1945). Embriólogo y genetista norteamericano, demostró que el cromosoma es el portador de la herencia.

Mozart, Wolfgang Amadeus (1756-1791). Genial músico austriaco; clásico de la música.

Needham John T. (1713-1781). Microscopista inglés, defensor del preformismo en embriología y la generación espontánea.

Oparín, Alexander, I. (1894-). Bioquímico ruso famoso por su teoría el origen de la vida (1936).

Ortega y Gasset, José (1883-1855). Filósofo español, reflexionó sobre la filosofía de la ciencia y la técnica; introdujo la filosofía alemana de fin de siglo en España.

Pasteur, Louis (1822-1895). Científico francés, autor de la teoría microbiana de la enfermedad; demolió definitivamente la creencia en la generación espontánea de los microorganismos.

Paz, Octavio (contemporáneo). Poeta crítico y sociólogo mexicano autor de numerosos libros sobre crítica literaria y sociopolítica.

Spallanzani, Lazzaro (1729-1799). Biólogo italiano famoso por sus investigaciones sobre la reproducción de los animales y el origen de los microorganismos de la putrefacción.

Starling, Ernest H. (1866-1927). Fisiólogo inglés. Starling y Bayliss fueron autores en 1902 de una comunicación estableciendo el papel de la secretina del duodeno que abrió la puerta a la investigación hormonal. Starling acuñó el término hormona en 1905.

Teilhard de Chardin, Pierre (1881-1955). Paleontólogo y filósofo francés. Autor de un sistema que concilia la evolución con el pensamiento católico.

Urey, Harold (contemporáneo). Véase Miller, Stanley.

Weissmann, August (1834-1914). Alemán. Autor de la teorías del plasma somático (células del cuerpo del individuo que son perecederas) y plasma germinativo (células sexuales que originan un

nuevo individuo y son potencialmente inmortales).

Van Gogh, Vincent (1853-1890). Genial pintor holandés, pionero de la escuela impresionista. Algunas de sus pinturas reflejan el deterioro mental que sufrió.

Van Helmont, Jan Baptiste (1577-1644). Médico holandés autor de una teoría biomédica (iatroquímica) sobre la digestión; experimentador en varios campos biológicos.

Van Leeuwenhoeck, Anton (1632-1703). Holandés; tallador de lentes que por primera vez observó los protozoarios y —posiblemente— algunas bacterias.

CONTRAPORTADA

Inmóvil, en la quietud del aire, una planta de girasol silvestre yergue sus cabezas amarillas. ¿Qué es esta planta tan común, tan humilde? para el pintor Van Gogh es una criatura de Dios y la pinta con deleite casi amoroso. Para un botánico es una muestra de la flora de un lugar determinado y, así, colecta la flor, la prensa entre papeles, le pone una etiqueta con un elegante nombre latino: *Helianthus annuus* y la almacena. Un granjero en cambio, la considera una planta dañina que le roba agua y nutrientes del suelo a su cultivo; así, toma una azada y de golpe acaba con ella. Otra gente aprovecha las semillas que, tostadas, se parecen a nuestras pepitas de calabaza. Si nada de lo anterior le ocurre al girasol, pasarán los días y los meses, llegarán los vientos fríos y la planta morirá. Pero antes habrá producido su descendencia. Encerrados en la semilla, los embriones resistirán el embate del frío y la sequía y germinarán: tras la muerte la resurrección. Y pasarán los milenios y las eras; el clima cambiará y los girasoles tendrán que adaptarse a circunstancias nuevas y resultarán otras plantas descendientes de ellos, con sus estructuras transformadas para subsistir. La moraleja es que la vida sigue adelante porque es un sistema abierto, autorregulado y evolutivo.

De la vida de las plantas y de los hombres no es un libro de biología vegetal: un relato escrito en lenguaje sencillo cuyo tema es cómo viven las plantas y las enseñanzas que de tal proceso podemos aprender. "En torno a cada narración biológica —nos dice el autor— se producen reflexiones que quizá nos ayuden a conocernos mejor, sabio consejo que nos diera Sócrates hace más de mil años y que mantiene su vigencia."

Manuel Rojas Garcidueñas estudió biología en la UNAM y, más tarde, obtuvo la maestría en la Universidad de Minnesota. También estuvo asociado una temporada con el impulsor de la "Revolución verde" Norman Borlaug. En el ITESM ha desarrollado investigaciones en el campo de la agrobiología y ha publicado el libro *Fisiología vegetal aplicada*, así como varios libros sobre la historia de la ciencia y temas académicos.