

DAVID ROMANO

UNIVERSIDAD DE BARCELONA

DISCURSO INAUGURAL DEL AÑO ACADÉMICO 1974-75



LAS PLANTAS
EN LA
HISTORIA DEL HOMBRE

POR EL

ILTRE. DR. D. MANUEL SERRANO GARCÍA

CATEDRÁTICO DE FISIOLÓGIA VEGETAL DE LA FACULTAD DE FARMACIA

BARCELONA

1974

Creo en cuantos hemos vuelto la espalda al éxito, a la vanidad, a la pedantería, en cuantos trabajamos con el corazón.

De una carta de Antonio Machado a Juan Ramón Jiménez.

Magfco. y Excmo. Sr.
Ilustres compañeros
Estudiantes
Señoras y señores

En este Acto solemne, Alumnos y Profesores debiéramos reunirnos en un ambiente optimista, y a la vez pleno de responsabilidad respecto a la labor que nos proponemos desarrollar. En un plano superior debieran hallarse las Autoridades académicas, desarrollando una política universitaria eficaz, que permitiese a cada Alumno y a cada Profesor la expresión máxima de sus capacidades. De fondo, una Sociedad que pone a disposición de su Universidad, de la que se siente orgullosa, todos los medios que necesita para el cumplimiento de su sagrada misión. Una Universidad, en la que el Alumno estuviese inspirado únicamente por el deseo de aprender, el Profesor por el de enseñar y el de crear un clima de inquietud científica en su Departamento, las Autoridades académicas por el de procurar a unos y otros un ambiente apropiado para que su trabajo pueda desarrollarse con dedicación y eficiencia, y la Sociedad que, en su orden de valores, sitúa a la Universidad en el lugar que le corresponde.

La descripción precedente es, por supuesto, utópica, pero es imprescindible hacer de ella una meta alcanzable. Es una empresa comunitaria en la que todas las partes interesadas tendrían que actuar con el mismo entusiasmo, y armónicamente, ya que si falla alguna de ellas el resultado no es una disminución de la magnitud del éxito, sino la frustración de unos y el fracaso de todos.

Cumplo con el alto honor de pronunciar este Discurso inaugural como un servicio que un día u otro podía corresponderme. En todo caso, es un acto de responsabilidad en la vida de un profesor que ha de preocuparle por muchos motivos, aunque generalmente se suele resaltar la elección del tema de que va a ocuparse.

El tema elegido: «Las plantas en la historia del hombre», ha sido elaborado con un criterio bastante libre, ya que sólo se han abordado algunos aspectos, y éstos tratados, unas veces, bajo un punto de vista puramente cultural, y otras con alguna mayor profundidad científica.

Antes de entrar en el tema del Discurso, desearía resaltar que, a pesar de haberlo elegido conscientemente, no ha sido confeccionado con un criterio de erudito, debido a sus propias dimensiones y al tiempo de que he dispuesto para prepararlo. Por estas razones, en él hallaréis, sin duda, trasuntos, seleccionados con mayor o menor acierto, de las fuentes de información utilizadas, y recuerdos de origen indefinido, desempolvados del olvido inútil, y también omisiones, desconocimientos, hechos demasiado comunes, opiniones personales de escaso valor, y otras difícilmente compartibles, e incluso otras todavía imposibles de compartir, y algún que otro lapsus calami. Para todo ello os pido tolerancia.

Nos interesan las plantas como fuentes de alimento y de numerosas sustancias de interés terapéutico o técnico, y como componentes ecológicos, a los que nuestra existencia se halla indisolublemente vinculada.

Las plantas han sido además el primer factor, y uno de los más poderosos, para la civilización y el desarrollo cultural de la humanidad, cuando el hombre inició el cultivo de aquellas que le servían de alimento, o la búsqueda de otras, valiosas, que le indujeron a emprender grandes viajes, que contribuyeron decisivamente al conocimiento de la configuración de la Tierra. Las plantas han sido también, debido a su fabulosa capacidad para la elaboración de sustancias, «maestras» para el hombre, al revelarle caminos de síntesis de numerosos compuestos, que después ha imitado en el laboratorio, y cualidades que ha tratado de hallar en otros compuestos por él producidos. Las plantas, en el proceso histórico de su formación, nos enseñan cómo ha ido hilándose la vida de los átomos a las moléculas, y de éstas a la célula, el individuo pluricelular, la especie, la población, el ecosistema, hasta la vegetación de la Tierra entera, y sus vinculaciones con el reino animal y el hombre, en un medio compartido por todas las criaturas vivientes.

Antes de que pudiera desarrollarse la más primitiva Agricultura, el hombre prehistórico tuvo que poseer algunos conocimientos sumamente empíricos sobre las propiedades y usos de las plantas que le servían de alimento. No hay duda de que esta «Botánica económica» incipiente y la Agricultura de ella derivada debieron figurar entre los primeros saberes del hombre primitivo y, por consiguiente, ser una de las primeras «ciencias» que cultivó.

No es posible precisar cuando, en el oscuro pasado, se inició esta rudimentaria Agricultura. Hace quizá unos 10.000 años, probablemente entre el Mediterráneo y el Eúfrates. Lo cierto es que con el cultivo de algunas plantas y la domesticación de ciertos anima-

les, el hombre dispuso de alimento seguro, pasando de la vida nómada a la sedentaria. Liberado de la necesidad primaria de buscar alimento, pudo dedicar parte de su tiempo a otras actividades. Se produjo una verdadera revolución económica y cultural, siendo así la Agricultura el primero y más importante paso hacia la civilización.

Según datos que se poseen, la Agricultura no es la invención de un pueblo aislado, sino que se manifestó independientemente en diversos pueblos como un fenómeno natural de la historia del hombre, en regiones de condiciones climáticas parecidas, subtempladas o subtropicales. En el Cercano Oriente, apareció hace unos 10.000 años la primera comunidad agrícola, basada en el cultivo de granos y la domesticación de animales. El Cercano Oriente debió ser el primero o uno de los primeros focos, de donde se irradiaron los adelantos en que se fundamentó la civilización occidental. En Centro América hay evidencias de haberse efectuado cultivos hace de 7.000 a 9.000 años. Probablemente, el maíz fue cultivado hace 7.000 u 8.000 años y la habichuela común (*Phaseolus vulgaris*) hace de 4.300 a 8.000 años. Aun admitiendo posibles contactos precolumbinos entre el Viejo y el Nuevo Mundo, lo cierto es que no afectaron a la Agricultura, que nació independientemente en ambos mundos, según se puede deducir del estado en que la encontraron los españoles.

La independencia con que se inició la Agricultura en el Viejo y en el Nuevo Mundo es fácil de deducir, ya que en uno y en otro eran distintas las especies consumidas, incluso cuando pertenecían al mismo género, y también difería su modo de preparación.

La búsqueda de los lugares de origen de las plantas cultivadas, donde se hallan todavía en estado silvestre, y de aquellos otros donde fueron cultivadas por primera vez es, además de una necesidad cultural, un problema científico puro y aplicado de la mayor importancia, si deseamos conocer la diversidad genética que tales plantas han alcanzado en su *habitat* natural, así como su conservación, adaptación climática, capacidad de resistencia a las enfermedades y otras cualidades, bastante mixtificadas todas ellas en las plantas cultivadas. Darwin (1859) y Mendel (1865) prestaron ya atención al origen y variabilidad de las especies. De Candolle publicó en 1883 su trabajo clásico «L'Origin des Plantes Cultives», que, como indica su título, se refiere al origen de las plantas de interés económico, sirviéndose de datos históricos (incluidos fuentes bíblicas y relatos de viajes), arqueológicos, paleontológicos, etnológicos y filológicos; dedujo que de 247 especies por él estudiadas, 199 procedían del Viejo Mundo y 45 del Nuevo Mundo.

Para el cultivo se utiliza comúnmente sólo una pequeña parte de variedades de la diversidad total alcanzada por la especie en su lugar de origen, quedando el resto ignorado. Además, las plantas cultivadas han ido adquiriendo con el tiempo, por efecto de la selección e hibridación, formas muy diferentes respecto a aquellas de sus ancestrales primitivos. Fundado en los hechos expuestos, Nicolai Vavilov (1926), utilizando información procedente de estudios genéticos y anatómicos, realizó un importante trabajo, en el que reconocía ocho centros de origen de las plantas cultivadas, situados en Asia, con el mayor número de especies, Oriente Cercano, Cuenca mediterránea, Abisinia, y Centro y Sudamérica. La búsqueda de los lugares de origen de las plantas cultivadas no ha terminado. Así,

en la segunda y tercera década del siglo XX, rusos, británicos, suecos y norteamericanos enviaron expediciones a los Andes septentrionales, a los lugares de origen de la llamada patata Irish (*Solanum tuberosum*) e hicieron colecciones que fueron cultivadas en sus respectivos jardines. No hay duda de que el problema presenta interés creciente.

De los estudios efectuados, se deduce el hecho notable, aunque sumamente lógico, que los centros donde se desarrollaron las antiguas civilizaciones, basadas en la Agricultura, en el Viejo y en el Nuevo Mundo, fuesen los mismos donde se presentaba el mayor número de variedades en estado silvestre, en su área de distribución natural, de las plantas utilizadas como alimento y de los animales domesticados. La localización y conservación de estos lugares, donde crecen todavía en estado silvestre las plantas tomadas para el cultivo es una necesidad biológica, como se indica en otro pasaje de este Discurso.

El hombre primitivo tuvo necesidad de las plantas, no sólo como alimento, sino también como remedios curativos; aunque de modo empírico, en todas las épocas consumió estimulantes y tranquilizantes, y otros remedios para sus enfermedades. Al hacerse más conocedor de su medio, el hombre debió adquirir pronto el hábito de la clasificación, separando lo útil de lo inútil. Esta fue, sin duda, la primera «Botánica sistemática» que practicó. Los remedios curativos, efectivos o supuestos, y su aplicación estaban envueltos de misterio, ya que en los pueblos primitivos la enfermedad era tenida por una invasión del cuerpo por los malos espíritus, y la administración de las

medicinas, frecuentemente aquellas que ejercían un efecto síquico, por considerarlas residencia de «divinidades» y fuerzas sobrenaturales, como el cacto peyote, iba acompañada de conjuros y rituales religiosos. Así el «médico-botánico» o, mejor dicho, el hechicero tribal ejercía también una función religiosa, y era, sin duda, mejor sicólogo que médico. Pero en la historia del hombre todo empezó de esta forma tan incierta y oscura. De tales orígenes nació no sólo la Agricultura, sino también la Medicina y, en definitiva, la Botánica, y de ella las numerosas disciplinas que de un modo u otro estudian las plantas.

Si nos atenemos a la Botánica en sus documentos, el más antiguo que se posee es un papiro de Egipto (de unos 1.600 años antes de J. C.), con una lista de drogas vegetales y sus usos, e igualmente se tiene conocimiento de contribuciones asirias (unos 700 años antes de J. C.).

La Botánica en la antigua Grecia aparece, ante todo, como un estudio de las plantas medicinales, según lo atestiguan los escritos de Hipócrates y otros conocidos, a partir del año 470 antes de J. C. Posteriormente, los botánicos griegos fueron introduciendo un interés por la planta, por sí misma, y no sólo por sus usos, aunque su finalidad dominante era la medicinal, hasta el siglo XVIII. Aristóteles (384-322 antes de J. C.), de cuyos trabajos desgraciadamente sólo se poseen fragmentos, estableció un jardín botánico con unas 450 especies, seguramente el más antiguo de que se tiene conocimiento. Su discípulo Teofrasto (370-280 antes de J. C.), llamado el «padre de la Botánica», además de la descripción de las plantas, introdujo conceptos que hoy situaríamos en el marco de la Botánica general. Así, reconoció y describió las diferencias esencia-

les entre monocotiledóneas y dicotiledóneas, y entre las cabezuelas de compuestas y las flores individuales de otras plantas, y también el fundamento de la formación del anillo anual en las plantas leñosas. Describió las comunidades de plantas de pastoreo, bosque y pantanos, manifestándose así como un precursor de la Ecología. Y, como todos los botánicos de su época y de muchos siglos después, contribuyó al conocimiento de la Botánica médica. Fruto de sus experiencias como médico militar en los ejércitos de Alejandro el Grande, confeccionó una lista de plantas medicinales. Después de Teofrasto, la Botánica general permaneció cerca de 18 siglos sin continuadores.

Bajo el imperio romano, la Botánica apenas progresó científicamente, a pesar de que los antiguos romanos poseían conocimientos de Agricultura práctica. Plinio el Viejo (23-29) confeccionó un «compendio de hechos» sobre las plantas y los animales vivos.

Un botánico que ejerció una influencia enorme durante siglos fue Dioscórides, que nació el año 64 de la era cristiana y viajó mucho como médico, siendo emperador Nerón. Escribió la obra «De Materia Medica», que era un «Herbario» donde se describían e ilustraban cerca de 500 plantas medicinales. Durante quince o dieciséis siglos fue copiada laboriosamente en «Herbarios» y obras de Botánica, siendo tan grande su prestigio que sólo con dificultad era aceptada toda presunta planta medicinal que no figurase en ella, sirviendo también de fundamento para otras varias obras botánicas.

Un aspecto interesantísimo protagonizado por las plantas, que ha influido más que ninguna otra acción emprendida por el hombre en los descubrimientos geográficos, y con ello en la civilización y cultura humanas, han sido las exploraciones efectuadas para hallar los lugares de origen de las plantas productoras de especias y rutas para su transporte y comercio.

Las especias, utilizadas como condimentos y aromatizantes, debido a las esencias que contienen, han desempeñado un destacado papel en la historia del hombre, promoviendo exploraciones que tuvieron como resultado el descubrimiento de rutas marítimas y terrestres, de tierras y mares desconocidos, e incluso de continentes.

El uso de las especias se remonta a las antiguas civilizaciones china, egipcia, griega y romana. En el Libro de los Proverbios de Salomón, en el apartado dedicado a los Halagos seductores, se puede leer textualmente: «He ataviado mi lecho con tapices, con telas de hilo recamado de Egipto; he perfumado mi cámara con mirra, incienso y cinamomo». En China, en el siglo III antes de J. C., el clavo de especia era usado con distintos fines; mencionamos, como pintoresca, la orden dada a los cortesanos de utilizarlo para purificar su aliento cuando se dirigían al Emperador. Los árabes destacaron en el comercio de las especias, proporcionándoselas a egipcios, griegos y romanos, pero ocultando muy celosamente su procedencia. De entre las especias, la canela alcanzó un valor muy alto, y su comercio debía estar bastante restringido, ya que en el año 65 de la era cristiana fue utilizada toda la provisión de canela de Roma de un año en las ceremonias del entierro de Popea, la esposa de Nerón.

Muchas especias, las de más valor, procedían de las islas de Asia, siendo famoso el grupo de las Molucas, llamadas por ello «Islas de las Especias», en las que crecían en estado silvestre árboles de la nuez moscada y de clavo de especia. De suma importancia es también Ceilán, de donde procede prácticamente toda la canela.

Son famosos los viajes realizados para llegar a los lugares de origen de las especias o para establecer rutas para su comercio. El viaje de Marco Polo, que duró 24 años (de 1271 a 1295), partiendo de Venecia y a través de Armenia, Persia y Extremo Oriente, tuvo como finalidad principal descubrir la procedencia de las especias, de cuyo comercio se ocupaban exclusivamente los árabes, pero, hecho curioso, no menciona haber visto canela en Ceilán. En varios de los grandes viajes a través del mundo, durante los siglos XV y XVI, incidieron de algún modo la búsqueda de especias o de nuevas rutas para su comercio. En el descubrimiento del continente americano por Colón (1492), como es bien sabido, incidió de modo importante la búsqueda de una ruta más corta para las especias de las Indias, particularmente la pimienta, que la descubierta por los portugueses, larga y peligrosa, bordeando África. En el siglo XV, los marinos portugueses emprendieron viajes maravillosos, cuya finalidad principal era la búsqueda de la canela. El viaje de Vasco de Gama (1497) desde Portugal, pasando por el Cabo de Buena Esperanza, al África Oriental, y de aquí a la costa de Malabar, en el Océano Índico, tuvo como botín la canela. Antes, en 1470, los portugueses habían realizado ya otros viajes en busca de unas semillas llamadas «granos de paraíso», procedentes de una planta (*Aframomum melegueta*) de la familia de las Zingiberaceae, «muy picantes y de mejor gusto que la verdadera pi-

mienta» (*Piper nigrum*). El coste del viaje de Magallanes (1519-1522) alrededor del mundo fue pagado enteramente con las especias, particularmente clavo, traídas por el único barco superviviente. En Inglaterra, en la Edad Media, frecuentemente se efectuaba el pago de ventas e impuestos en «granos de pimienta».

En los siglos XVII y XVIII, el comercio de la nuez moscada y del clavo de especia estuvo monopolizado por Holanda. Sólo eventualmente y con gran riesgo, fueron sacadas especias de las posesiones holandesas por contrabandistas que las extendieron por otras partes del mundo. A esta labor contribuyó, en varias áreas del Océano Indico, la administración británica, que terminó con el dominio holandés, siendo reemplazada la Compañía Holandesa de las Indias Orientales por su equivalente británica. La nuez moscada fue llevada a Penang, en Malaya, y a Granada, en las Indias Occidentales Británicas, y el clavo de especia a las islas Mauricio y Reunión, en 1770, y de allí a la colonia británica del Africa Oriental de Zanzíbar y a la isla vecina de Pemba, donde en la actualidad se hallan las plantaciones de clavo más importantes.

Las vicisitudes en torno a las especias fueron numerosas, sobre todo, cuando se producía algún cambio de potencia administradora en las colonias donde crecían las plantas productoras, y a causa de ello en el monopolio comercial, estando involucrados en estas alternativas, con la mayor frecuencia, portugueses, holandeses y británicos, que se disputaban de formas poco pacíficas su comercio. Las especias incidieron incluso en el desarrollo de las artes y la cultura. Los accionistas de la Compañía Holandesa de las Indias Orientales acumularon grandes fortunas, ejerciendo el patronazgo de las artes en Holanda. Eliu Yale (1672),

que entró como dependiente de la Compañía Británica de la India Oriental, que se dedicaba al comercio de las especias de la India, acumuló una gran fortuna, con la que contribuyó a la fundación de la actual Universidad de Yale.

Las especias halladas en el Nuevo Mundo fueron pocas y de mucho menos valor que las procedentes de las islas de Asia. El hecho no puede ser más paradójico, se emprende un viaje inteligentemente pensado y de arriesgadísima realización para hallar una ruta comercial para las ricas especias asiáticas y, en su lugar, se encuentran unas especias de escaso valor, pero se hace el más grande de los descubrimientos geográficos y se marca el comienzo de una nueva época. Pero, muchos de los momentos «estelares» en la historia del hombre han tenido unos orígenes tan inciertos, terminando por resolverlos el azar, de modo insospechado. Del Nuevo Mundo proceden el pimiento y los chiles rojos (guindillas), cultivados antes de la llegada de Colón, y hallados en tumbas prehistóricas en el Perú. La especia más importante, procedente de la América tropical, es la vainilla, obtenida de la especie *Vanilla planifolia*, de la familia de las Orchidaceae.

A medida que transcurrían los años del Renacimiento, a pesar de que al principio las obras de Botánica conservaban todavía mucho del estilo de Dioscórides, que exaltaba las virtudes medicinales de las plantas, los «Herbarios» alemanes, italianos e ingleses se caracterizaban por una mayor imaginación en las descripciones. Sin duda, en el siglo XVI comenzó a revivir la Ciencia botánica, apareciendo las obras de Leonard Fuchs, en 1542, y De Historia Plantarum de Valerio Cordus, en 1561.

No tardó en dejarse sentir la necesidad de sustituir el folklore y el empirismo, dominante en la obra de Dioscórides y en las escritas con parecido estilo, por un criterio más científico, basado en un mejor estudio de la Morfología, frecuentemente para reconocer con mayor facilidad las plantas medicinales, y la necesidad de la clasificación sistemática, según observaciones científicas, para proseguir en épocas posteriores tratando de hallar relaciones filogenéticas. Especial atención merecen las obras de Nehemiah Grew «An Idea of a Phytological History» (1673) y «Anatomy of Plants, with an idea of a philosophical History of Plants» (1682), a las que nos referiremos después, por haber sido Grew uno de los precursores de la Quimio-taxonomía.

En el siglo XVIII, los trabajos de Linneo y Jussieu establecieron ya muchos de los fundamentos de la Taxonomía vegetal como hoy la conocemos. No hay que olvidar que hoy, de cerca de cuatro quintas partes de las plantas no se poseen conocimientos mucho mayores que aquellos que tenía Linneo de las estudiadas por él.

Pero, antes de referirnos a Linneo, es de resaltar que por aquella época la Ciencia botánica comenzó a liberarse en parte del influjo de la Medicina, aunque de hecho la Botánica médica continuó siendo una disciplina importante en los estudios de Medicina, hasta entrado el siglo XX. Gradualmente, la Botánica médica—que comprendía la recolección e identificación de plantas medicinales y el estudio de las drogas— fue pasando al dominio de la Farmacia.

Anteriores a Linneo, merecen destacarse G. Bauhin (1623) y Morison (1680). G. Bauhin efectuó unas des-

cripciones de las plantas, tan precisas, que su ordenamiento conduce ya a una agrupación natural, y propuso detener la introducción indiscriminada de nombres nuevos para la denominación de las plantas. Morison (1680) logró que la comunidad de botánicos se sometiese a una ordenada constitución, siendo promulgada una ley, «tomada del libro de la naturaleza», que no podía transgredirse sin ser tachado de ignorante su transgresor. Los componentes de la comunidad fueron trayendo material de distintos lugares, y así introduciendo nuevos nombres. Todos los nombres específicos que no se ajustaban al género eran proscritos.

El trabajo de Linneo (1707-1778) merece especial atención. A él le debemos la introducción del sistema binario. En la época de Linneo, los botánicos trabajaban activamente en el descubrimiento, la descripción y el dibujo de plantas, situándolas en géneros y clases, pero nadie intentaba desarrollar una nomenclatura propiamente dicha, lo que inevitablemente hacía que la Botánica se viese gravada, de modo creciente, con nombres erróneos.

Hasta ahora —decía Linneo— nadie ha abordado la abnegada labor de proponer unas «reglas permanentes», con cuya conformidad pueda pronunciarse juicio acerca de los nombres de las plantas y definir aquellos que son apropiados de los que no lo son. Linneo manifiesta haber decidido hacer un tal intento, y dice textualmente, con estilo sobrio e inequívoco: «A ustedes, señores botánicos, yo someto mis reglas, que he trazado por mí mismo, y de acuerdo con las cuales intento conducirme. Si les parecen dignas de crédito, utilícenlas; si no, por favor, propongan otras mejores». Continúa Linneo: «Yo alabo los nombres dados a las plantas por los antiguos griegos y roma-

nos, pero me estremezco a la vista de la mayoría de aquellos dados por las modernas autoridades; respecto a éstos, son un mero caos de confusión, cuya madre es la barbaridad, cuyo padre es el dogmatismo y cuya nodriza es la parcialidad». Linneo consideraba mal puestos aquellos nombres dados para perpetuar la memoria de los santos y hombres distinguidos en algunas otras ramas del saber, o para asegurar su favor. Serían dejados como nombres genéricos aquellos que no representaban un perjuicio para la disciplina, como los dados por los padres de la Botánica, hace siglos, y aceptados por el uso, y sobre todo los que muestran el carácter esencial o apariencia de la planta, como *Helianthus* o «flor del sol» (la flor de esta planta recuerda la forma del sol). Los nombres genéricos que no posean una raíz derivada del griego o el latín tienen que ser rechazados, debido a que los principales botánicos de la época conocían el latín, respetando además los nombres genéricos griegos, por haberse iniciado la Botánica en la antigua Grecia.

Algunas de las reglas propuestas por Linneo, se fundamentan en sutilísimas observaciones botánicas, con cierto matiz fisiológico, según se indica seguidamente: a) Todas aquellas plantas que coinciden en su modo de fructificación deberían unirse en un mismo género. La posición del fruto es el mejor carácter distintivo. b) El tamaño no distingue una especie. Todas las plantas que crecen en suelo estéril, seco, son más pequeñas; igualmente, todas las plantas en los Alpes son pequeñas. c) El color varía caprichosamente en la misma especie, por lo que carece de valor distintivo. d) La pubescencia puede ser un carácter distintivo falso, ya que desaparece frecuentemente en las plantas bajo cultivo.

Los que aspiramos al conocimiento de las plantas, tenemos que recordar a Linneo con extremada gratitud por la introducción de su sistema binario. Para dar una idea de lo que representó el sistema binario de denominación de Linneo, basta recordar que en el mundo puede haber más de 400.000 especies de plantas, pero su número no puede precisarse, entre otras causas, por ser variable. De ellas, las conocidas eran denominadas con nombres caprichosos que no coincidían para la misma especie en distintos países, siendo el medio más seguro de reconocerlas por sus descripciones, cuando éstas eran fidedignas. El sistema de Linneo ofrecía la posibilidad de nombrar todas las plantas, y además de no ser un sistema rígido, sino abierto a todo perfeccionamiento. El que conociese las plantas únicamente por sus caracteres y no por su nombre, apenas tendría posibilidad de transmitir sus conocimientos. Una planta es denominada completamente cuando se le asigna un nombre genérico y uno específico que la distingue de las demás.

Después de Linneo, muchos naturalistas se ocuparon activamente de describir nuevas especies y géneros, y de clasificarlos con los sistemas mejorados y más naturales que han ido introduciéndose gradualmente, cada vez con mayor consideración de las relaciones filogenéticas.

Otros estudiosos, siguiendo el ejemplo de Cuvier, que, a principios del siglo XIX, aplicó el conocimiento de la Anatomía a la clasificación de animales, no estaban conformes con la simple apreciación de caracteres externos, dedicándose al examen minucioso de la estructura interna de las plantas.

El estudio de la naturaleza avanzó de tal modo que, a mediados del siglo XIX, la magnitud y la complejidad de los conocimientos logrados hizo necesaria la especialización y división de la labor entre los naturalistas. Entonces se produjo un fenómeno que ha perdurado hasta nuestros días: cada grupo de especialistas consideró su especialidad independiente de las demás, y a su vez la más importante. Más todavía, cualquier conexión entre dos disciplinas era tomado por cada especialista como un hecho de subordinación de la disciplina contraria. En definitiva, un conflicto que quebrantaba el «dogma» de la «unidad de la naturaleza», que tampoco ha sido demasiado respetado después.

La mayoría de los naturalistas, trabajando independientemente en sus distintas especialidades, y sin conexión alguna entre ellos, se dedicaban únicamente a acumular hechos, sin otra finalidad que tratar de descubrir cómo pudo producirse tanta diversidad.

A la Ciencia biológica le faltaba alguna teoría inteligible, un soplo de inspiración, capaz de articular armónicamente el enorme conjunto de hechos acumulados. El trabajo de Darwin, después de su viaje alrededor del mundo y de una laboriosa vida, fue inestimable en este sentido, revolucionando el concepto de Biología. Su obra cumbre fue el «Origen de las especies», que proporcionó un poderoso instrumento de investigación. Sin embargo, merecen también atención los trabajos de Darwin sobre fecundación —autofecundación y cruzamiento— de orquídeas, que contribuyeron a establecer el concepto de especie, al comprobar que los híbridos de distintas especies eran estériles, mientras que los producidos del cruce entre variedades ligeramente diferentes eran más fértiles y vigorosos.

Darwin dió además una explicación razonable para la diversificación de colores, formas y adaptaciones de las flores en las orquídeas para la fecundación cruzada por insectos, sin la cual la mayoría de ellas quedarían estériles. Sin embargo, Darwin no tuvo nunca un concepto claro de especie, así que la explicación dada por él para la desaparición de la variación, mediante «un sistema de herencia fusionada» no era satisfactoria. Mendel (1865) propuso una explicación correcta, cuando dedujo de sus trabajos que una variación se produce a causa de una modificación en alguna unidad hereditaria particular, y que estas unidades hereditarias quedan constantes, y pueden situarse, durante la reproducción, en nuevas combinaciones, sin fusionarse ninguna de ellas con otra similar, es decir, conservando cada una su identidad y, por último, que cuando una unidad hereditaria no se manifiesta a través de generaciones, la experimentación demuestra que permanece sin transformarse, ya que puede revelarse después, bajo condiciones más favorables. La consecuencia que se infiere es que la herencia biológica no implica una verdadera fusión de las cualidades de los padres, y que el cruzamiento no induce una tendencia a la disminución de la variación.

Estas explicaciones de Mendel constituyeron uno de los momentos cruciales de la Biología, al permitir comprender los mecanismos que transmiten las cualidades hereditarias de generación en generación, naciendo una nueva ciencia, la Genética. Sin embargo, los trabajos de Mendel fueron ignorados por Darwin, aunque pudo muy bien conocerlos, ya que sus famosas leyes se publicaron en 1865, y Darwin murió 17 años después.

El olvido y hasta el menosprecio en que permanecieron las leyes de Mendel podría ser un caso digno

de investigación para un estudioso de la historia de las ideas. Pero acaso, no podría repetirse el hecho en la actualidad?

La división de la Botánica en varias disciplinas fue una necesidad no exenta de dificultades, ya que las relaciones entre algunas de las especialidades son tan grandes que toda separación raya en lo imposible. Al nivel de conocimientos que hoy se posee, el número posible de especialidades es enorme, pero no concebimos cómo pudiera conocerse adecuadamente una especialidad aplicada, dentro del marco de la Botánica, sin unos fundamentos de Morfología externa e interna, Taxonomía y Filogenia, Fisiología y Genética, que constituyen, a su vez, un cuerpo coherente y amplísimo de conocimientos, salvo que no se trate de una verdadera especialidad, sino de unos conocimientos técnicos sin base científica.

A pesar de la división de la ciencia de las plantas en especialidades, iniciada a mediados del siglo XIX, el eje de la Botánica ha estado constituido durante largo tiempo por la Morfología comparativa y la Sistemática. Sin ellas, la Botánica no habría podido configurarse en la forma en que hoy la conocemos y, por supuesto, sería una disciplina enteramente estéril. La Morfología y la Sistemática, basadas en la observación de la planta entera, estudian las especies, las poblaciones, y las floras y, en definitiva, la vegetación, que sirven de fundamento para el conocimiento de los ciclos vitales, las relaciones ecológicas, la filogenia y la evolución, y para todo estudio serio de las plantas.

La catalogación y la ordenación de la flora del mundo es incompleta y, sin duda, va a continuar siéndolo por un tiempo indefinido. Así, la labor del taxónomo no ha terminado, en primer lugar, por la imposibilidad de conocer todas las especies que existen en la Tierra, a causa de su inmenso número y a la cambiabilidad —desapariciones y apariciones de otras nuevas— a que están expuestas. En segundo lugar, al reordenamiento permanente de los táxones, debido a los constantes hallazgos en Morfología microscópica, Citogenética, Genética de poblaciones, Biología de la flor, Reproducción, Propagación, cambios ontogénicos, reacciones a las condiciones ambientales que ocasionan variabilidad, posibilidad o imposibilidad de cruce, adaptación de la flor a los visitantes en las plantas entomógamas, y otros aspectos poco estudiados todavía, como el polen en las fanerógamas, y más modernamente la Fitoquímica y la Biofísica, y otras todavía que pueden contribuir al conocimiento de la «estructura biológica» de la especie, a fin de establecer su situación taxonómica-filogenética.

La Taxonomía ha estado siempre, desde que se hicieron los primeros intentos de clasificación hasta hoy, en un estado de confusión, ya que existen varios sistemas naturales, sin haber dado hasta la fecha con uno estable. Por ello, y por la introducción de nuevos factores, unos de valor ya definido y otros en período crítico, los taxónomos tienen ante sí una importantísima gran labor.

No es nuestro propósito hacer una historia de la botánica, por dos motivos: por su magnitud y porque está magistralmente escrita en muchas obras y tra-

bajos monográficos. Sin embargo, desearía indicar, únicamente, que al mismo tiempo que la Botánica se enriquecía de conocimientos siguiendo sus líneas clásicas de estudio, se iban sentando los fundamentos para el desarrollo espectacular, ya en pleno siglo XX, de la Morfología interna, la Fisiología, la Genética, así como la Fitoquímica y la Bioquímica, que además han revolucionado a las tres primeras, con lo que la Botánica se ha convertido en un inmenso saber.

El desarrollo de la Biología vegetal ha estado limitado por la falta de instrumentos y de técnicas físicas y químicas. Ejemplo vivo de ello lo tenemos en el resultado del perfeccionamiento de la técnica microscópica, hasta llegar al microscopio electrónico, el descubrimiento y la aplicación de la técnica cromatográfica, en todas sus modalidades, y la de «marcado» con isótopos radiactivos, por citar los tres procedimientos que más han contribuido al desarrollo de la moderna Biología vegetal. Pero los biólogos de la época anterior a estos hallazgos habían trazado ya las líneas maestras de la biología. Por ejemplo, se tenía un conocimiento bastante claro de la organización celular, logrado en su mayor parte por los biólogos vegetales, trabajando con material vegetal. Igualmente el concepto de gen y la forma en que se transmite y revela en los caracteres de los individuos, fue establecido por un biólogo vegetal utilizando las plantas como material de estudio. Se tenía también un conocimiento de todos los grupos de sustancias más importantes que componen las plantas y de sus cambios metabólicos fundamentales.

La Botánica médica, se constituyó en una disciplina independiente, desde que un estudiante de Medicina

de Hale, en 1815, así lo sugiriese. La nueva disciplina, fue denominada de muchos modos, aunque hoy predomina el de Farmacognosia, y se ocupaba de la búsqueda y reconocimiento de las plantas que proporcionan drogas, y de la preparación y la química de éstas. Con la mayor frecuencia, el farmacognosta, sirviéndose de los métodos del anatomista, prestó tal atención a las descripciones histológicas, acompañadas de fidelísimos y muy bellos dibujos, llevados hasta el preciosismo, que inducían al estudiante a la confusión respecto al contenido y verdadero sentido de la disciplina.

Las drogas vegetales se utilizaron con gran profusión a principios del siglo XX, de modo que su descripción y el reconocimiento de algunos de sus principios ocupaban la parte principal en Farmacopeas y Formularios. A partir de los años cuarenta, fueron varios los farmacognostas que mostraron mayor interés por la química y la fisiología de las plantas medicinales que por la histología. El desarrollo de la Farmacología, hizo que el empirismo reinante en la aplicación de las drogas vegetales y sus preparados como remedios curativos se racionalizase. El resultado fue que las drogas utilizadas en el tratamiento de enfermedades tenían que ser acreditadas mediante ensayos químicos, farmacológicos y clínicos.

El progreso de la Química orgánica y la comodidad con que se manejan los productos puros —lo mismo si proceden de la extracción de una droga que de la síntesis química—, en cuanto a sus ensayos químicos, farmacológicos y clínicos y a su dosificación, evitándose además la interferencia de las sustancias acompañantes en la droga, hizo que la utilización de estos productos aumentase notablemente y la de drogas vegetales disminuyese en la misma medida. Así, la Far-

macognosia conserva su complejidad inicial, con la diferencia, en la actualidad, que los saberes que la nutrían se han convertido en prósperas y extensísimas disciplinas, pero en la Ciencia se está produciendo constantemente este fluir y refluir; La Farmacognosia, prestando la debida atención a las disciplinas que la nutren, puede ejercer una utilísima labor integradora de conocimientos sobre las plantas medicinales. Además, las plantas, con su capacidad para la síntesis de sustancias, la mayoría de ellas todavía desconocidas química y farmacológicamente, serán siempre de suma importancia como fuente de remedios curativos.

A partir del siglo XVII, empezó a vislumbrarse la posibilidad de utilizar caracteres químicos para el conocimiento de las plantas, es decir, antes de que Linné propusiese su sistema binario. Sin embargo, la labor realizada por la Sistemática, basada en la Morfología comparativa, aún hoy, en el estado de progreso en que se halla la Fitoquímica, sería imposible por procedimientos químicos. Aunque no se vislumbra, de momento, que los caracteres químicos sean más importantes que otros cualesquiera para determinar la «estructura biológica» de la especie, la revisión química sistematizada del reino vegetal que se está efectuando, va a ser un paso importante, en muchos sentidos, para la historia del hombre. Nehemiah Grew (1641-1712), en su obra «An Idea of a Phytological History Propounded» (1673), refiere que cada planta puede tener algo de naturaleza individual y a la vez compartir con otras plantas alguna de sus propiedades. Así, los pepinos silvestres se diferencian de los cultivados en que los primeros son purgantes y los segundos no lo son; sin embargo, unos y otros son diuréticos. Igualmente, las

plantas umbelíferas tienen, cada una, su propia naturaleza, pero probablemente todas ellas coinciden en sus propiedades carminativas. Es evidente que Grew dio a su obra una modernidad hasta entonces desconocida y, dentro de la limitación de conocimientos propia de la época, introdujo caracteres químicos para la caracterización de las plantas.

De Candolle publicó en 1804 su «Essai sur les propriétés médicales des Plantes, comparées avec leur formes extérieures et leur classification naturelle», cuyo título refleja claramente la intención de su autor.

Los trabajos de Rochleder «Beitrag zur Phytochemie» publicados en 1847, y su obra «Phytochemie», en 1854, son de verdadero interés fitoquímico. La obra últimamente citada es una relación de los hechos conocidos en la época acerca de la química de las plantas, resaltando las muchas lagunas que en esta materia existían, con el propósito de estimular ulteriores investigaciones. En un párrafo de la obra de Rochleder se puede apreciar claramente cual era su pensamiento: «Reemplazar todos los sistemas de clasificación ahora existentes por un sistema natural simple. Esto sólo puede lograrse considerando todos los factores morfológicos y anatómicos, así como los químicos. Todo estudio del reino vegetal tiene que estar familiarizado con la morfología de las plantas, así como con la composición química y la biosíntesis. El botánico no puede trabajar sin un conocimiento de la Química y el químico sin un conocimiento de la Botánica, si ellos quieren promover ciencia».

Ya en el siglo XX, Greshoff (1909) publicó un resumen acerca del contenido en muchas plantas de taninos, saponinas, ácido cianhídrico y alcaloides. Refi-

riéndose al alto nivel de ácido cianhídrico en el plátano silvestre (*Platanus acerifolia*) de las calles de Londres, indicó que la «cantidad de este ácido en cada hoja sería suficiente para matar a un gorrión». Greshoff (1909) se muestra clarividente cuando dice que toda descripción segura de un nuevo género o especie debería comprender una breve «descripción química de la planta».

Continuando el espiguelo de hechos que reflejan cuando la Botánica comenzó a entroncarse con la Química, tendríamos que situar aquí los trabajos de McNair, que a lo largo de 26 publicaciones, aparecidas de 1916 a 1945, intentó aplicar, de modo general, la Química comparativa a la Taxonomía de las plantas. Efectivamente, sus trabajos están realizados con un fino criterio quimiotaxonómico y filogenético, e incluso ecológico. Entre otros, publicó un estudio de las grasas de 300 especies de plantas, correspondientes a 83 familias, concluyendo que en las especies muy relacionadas taxonómicamente las grasas y aceites son muy similares, y que las plantas tropicales suelen acumular grasas o aceites no secantes, de puntos de fusión más altos que aquellos de las plantas de áreas templadas. Sugiere también que las plantas más desarrolladas filogenéticamente presentan constituyentes con moléculas mayores y grasas con índices de yodo más altos que las menos desarrolladas. Apoyándose en los hechos expuestos, sostiene que los árboles son más primitivos que las plantas herbáceas, y las monocotiledóneas más que las dicotiledóneas, dentro de las cuales las simpétalas serían las más avanzadas. Realizó también un trabajo sobre los alcaloides del género *Aconitum*, pero las generalizaciones que hace acerca de la presencia de estos compuestos en especies y familias son muy poco consistentes.

Se estaban sentando, en definitiva, las bases para el estudio químico sistematizado de las plantas como un prometedor campo de investigación. En realidad, la Química estuvo siempre velando las armas para entrar en la Botánica. El examen de los trabajos mencionados, y sin necesidad de recurrir a otros que he silenciado injustamente, revela no sólo como iban acumulándose hechos y datos positivos en favor de la Química de las plantas, sino también cómo se iban aclarando las ideas para establecer unas líneas de investigación en este nuevo campo. Igualmente, el taxónomo se ha servido siempre de caracteres químicos, aun cuando no haya reparado en ello. Cualquier distinción fundamentada en el color, gusto u olor es de naturaleza química; pero hasta hace relativamente poco, la Fitoquímica apenas era más que un catálogo, muy incompleto y sin orden, de sustancias presentes en las plantas.

Nacida la Quimiotaxonomía, era necesario hallar un método para trabajar en esta nueva disciplina. A partir de la clasificación establecida por los sistemas naturales, se inició la búsqueda de diferencias entre los distintos grupos taxonómicos, desde los de mayor magnitud hasta la especie, e incluso por debajo de ella. Así, las plantas, con la excepción de algunas parásitas y saprofitas y de los hongos, contienen pigmentos fotosintéticos; en las plantas superiores se pueden considerar universales las pectinas mientras que en las algas marinas, en su lugar, se encuentra el ácido algínico; la glucosidación de fenoles es una cualidad propia de las plantas superiores, que apenas se observa en briofitos y talofitos; las ligninas se presentan en las plantas vasculares, apreciándose en los musgos sólo sustancias parecidas; los alcaloides se hallan preferentemente en las angiospermas, y dentro de éstas en las

dicotiledóneas, y apenas en grupos taxonómicos inferiores. Según datos disponibles hasta ahora, el caucho parece estar casi restringido a las angiospermas, y los lignanos han sido hallados únicamente en las dicotiledóneas, pero estas últimas diferencias apenas sí tienen significación, porque dentro de cada grupo los compuestos indicados han sido identificados sólo en un número de especies relativamente pequeño (Gibbs, 1974).

Tampoco en los niveles de orden, familia, e incluso género, se pueden indicar diferencias demasiado significativas. Es en la especie donde serían de esperar numerosísimos casos de rasgos diferenciales. Cuando se presentan diferencias químicas pero no morfológicas, entre plantas de la misma especie, se consideran subespecies, variedades o formas «químicas».

En la actualidad se están ensayando, con fines quimiotaxonómicos, en las familias más importantes, todos o casi todos los grupos químicos naturales más representativos. La Quimiotaxonomía es ya una ciencia importante, híbrida de Taxonomía y Química orgánica, pero con fundamentos fisiológicos y genéticos más profundos todavía que en la Taxonomía clásica. Se comprende muy bien cuáles pueden ser los compuestos de mayor significación quimiotaxonómica, pero, de momento, se está dando cierta preferencia a aquellos que además de suponerseles alguna significación taxonómica no presentan dificultades insuperables para su análisis.

En el individuo vegetal o animal, los ácidos nucleicos y las proteínas constituyen la base molecular de los fenómenos, cuya expresión definitiva son los caracteres utilizados por los sistemáticos. Por el contrario, los metabolitos secundarios, así como una diversidad

de caracteres morfológicos, pueden haberse producido, en diferentes organismos, por evolución convergente, y por ello haber perdido significado filogenético. La consecuencia es que los ácidos nucleicos y las proteínas son del más alto valor taxonómico, pero su utilización para la determinación de las especies está limitada por las técnicas analíticas disponibles, particularmente en el caso de los ácidos nucleicos. Respecto a las proteínas, lo más deseable en la actualidad sería la determinación de la secuencia de sus aminoácidos, pero entraña la doble dificultad de ser sumamente laboriosa y de requerir el análisis de muchas muestras. Por ello, de momento, se utilizan los métodos inmunológicos, que son rápidos y relativamente específicos, así como la fitohemoaglutinación, la movilidad electroforética, la actividad enzimática, y posiblemente otros todavía.

La aplicación de los métodos de la Serología a la determinación taxonómica de las plantas, se fundamenta en la idea de que todo organismo vivo tiene sus propias proteínas características, y que éstas son muy similares en organismos taxonómicamente muy relacionados, mientras que aquellas de organismos distanciados son mucho menos parecidas. La técnica, resumida al máximo, es bien conocida: la proteína vegetal, extraída e inyectada a un animal de experimentación (por ejemplo, el conejo), actúa como un antígeno, frente al cual el animal engendra anticuerpos específicos. El suero que contiene los anticuerpos —principalmente gammaglobulinas— es denominado antisuero. Este reacciona «in vitro» con el extracto proteico original, produciéndose una precipitación. Los anticuerpos en el antisuero pueden reaccionar, también «in vitro», aunque menos acusadamente, con proteínas de organismos relacionados en algún grado con aquellos cuya

proteína actuó de antígeno. Estas reacciones son denominadas «heterólogas». Así, proteínas de semillas de especies de *Phaseolus* reaccionan con el antisuero obtenido de *Phaseolus vulgaris*, en el siguiente orden, decreciente: *P. coccineus*, *P. polyanthus*, *P. acutifolius*, *P. lunatus*, *P. aureus*.

Las plantas, particularmente en las semillas, pero también en otras partes, contienen «fitohemoaglutininas» (sustancias que aglutinan eritrocitos), extraíbles con solución salina isotónica. El poder hemoaglutinante de un extracto puede medirse por dilución de este último, y varía en eritrocitos de diferentes grupos sanguíneos y en los de diferentes animales, y también según el órgano o tejido vegetal ensayado y el estado vegetativo de la planta. Se ha comprobado el hecho notable que la alta actividad «fitohemoaglutinina» es genéticamente dominante, mientras que la baja actividad es recesiva. Hay otras causas que pueden ocasionar variaciones en los resultados, incluso subjetivas, según puede comprobarse al comparar los datos obtenidos por diferentes analistas. Sin embargo, bien planificados y realizados, los ensayos de fitohemoaglutininas tienen valor taxonómico.

La solubilidad de las proteínas en distintos medios y su separación por electroforesis (por ejemplo, en poliacrilamida), en disco o en lecho plano, seguido del examen de los discos o bandas separados, o el ensayo de su actividad enzimática, todo ello bajo condiciones muy bien establecidas, puede ser de utilidad en la caracterización y diferenciación de especies muy afines. La electroforesis puede contribuir a determinar el origen parenteral de las plantas híbridas y el polimorfismo de poblaciones naturales y, en definitiva, a dilucidar las afinidades genéticas de las especies, subes-

pecies y variedades, y sus relaciones en el proceso evolutivo.

En todos los casos, brevemente considerados, es necesario tener presente que las proteínas vegetales se extraen con dificultad y que muestran menor versatilidad que las proteínas animales, ya que los métodos desarrollados para éstas han servido de modelo para aquellas de las plantas.

En las plantas pueden darse a la vez diferencias morfológicas y la presencia de aminoácidos libres «no comunes». Tal hallazgo sugiere que se han producido mutaciones, que han afectado a la vez al desarrollo de la planta, hasta producir nuevas especies, y concomitantemente a la biosíntesis de ciertos aminoácidos. Este puede ser también el camino que conduzca a la formación de otras muchas sustancias, proporcionando frecuentemente evidencias acerca del proceso evolutivo, de modo más inequívoco que las fundadas en los métodos clásicos. Así, si varias especies tienen en común un aminoácido raro, lo más probable es que descendan de la misma forma ancestral, cuyo genoma ha controlado la biosíntesis de tal aminoácido. Si las especies en cuestión tienen todas ellas dos o más aminoácidos raros, y éstos son de origen genético independiente, entonces podría darse como cierto que tales especies procedan de una estirpe común, ya que la probabilidad de que se produzca más de una vez una combinación idéntica de genomas no usuales tiene que ser remota. Así, los aminoácidos «no comunes» pueden ser utilizados con fines taxonómicos, como los caracteres morfológicos simples, y también servir para confirmar la significación de otros caracteres. En todo caso, la verdadera significación de los aminoácidos no comunes será comprendida plenamente cuando se

hayan dilucidado los pasos metabólicos que conducen a su formación, y las relaciones fisiológicas y bioquímicas que existen entre ellos.

Las plantas, a diferencia de los animales, acumulan en sus células una cantidad considerable de sustancias de bajo peso molecular, la mayoría de ellas sin función definida en el metabolismo primario. El nombre de sustancias secundarias, como son denominadas, se debe a que no se presentan de modo general en el reino vegetal, y a que no intervienen directamente en las actividades metabólicas fundamentales de la planta, por lo que, cuando se presentan, su distribución cualitativa y cuantitativa varía enormemente. Por los motivos expuestos, y porque no suelen presentar ambigüedades en su constitución, a pesar de la complejidad química de algunas de ellas, se utilizan ventajosamente en Quimiotaxonomía, respecto a las grandes moléculas de ácidos nucleicos, proteínas y otras.

Desde el punto de vista fisiológico y genético, estas sustancias son enigmáticas, debido, por un lado, a que se presentan en ciertas especies, a veces, sólo en determinadas células, tejidos u órganos, sin que su presencia represente ventaja alguna, ni su ausencia inconveniente en las especies que carecen de ellas, y por otro a que su síntesis se efectúa frecuentemente en un momento u otro del ciclo de desarrollo de la planta, en un proceso derivado de su metabolismo primario.

Las especies vegetales pueden contener sustancias secundarias en mayor o menor número. Hasta la fecha, se cuentan por cientos o millares: más de 3.000 alcaloides, 300 glucósidos, 9.000 componentes de esencias, 200 aminoácidos libres no comunes, 100 azúcares especiales y muchísimas más. Cada año, merced a las

técnicas cromatográficas y otras, se descubre cerca de un millar de estas sustancias.

Antes de su utilización en Quimiotaxonomía, los fitoquímicos habían mostrado interés por estas sustancias, ya que muchas de ellas son importantes agentes terapéuticos, en la actualidad se presta especial atención a los anticancerígenos, y otras muchas de muy variada utilidad técnica. Frecuentemente, la propia naturaleza o la calidad de los productos naturales, cuando encuentran aplicación, no se da en los de síntesis. Este hecho se observa muy bien en los aceites esenciales, por ejemplo, la vanillina sintética es muy inferior al producto natural, que contiene, además de vanillina, muchos otros compuestos, que contribuyen a su acción aromatizante, y lo mismo sucede en otros productos como el caucho, y muchos más.

Hay especies vegetales que presentan un gran número de sustancias secundarias relacionadas entre sí—como las semillas de *Mansonia altissima*, que contiene 30 cardenólidos, o el limón, en el que se han identificado 102 ácidos grasos diferentes (Nordby y Nagy, 1969), y otros muchos casos que podrían referirse—, mientras que, por el contrario, otras especies presentan un alto contenido de un solo compuesto—como sucede en las semillas de *Strophantus Kombe*, que contienen 7-10 por ciento de cardenólidos, de los que cerca de la mitad es K-estrofantósido—.

Seguidamente examinaremos algunos ejemplos de sustancias secundarias que se han revelado de valor taxonómico y genético-fisiológico.

El *Pinus jeffreyi*, considerado por Shaw como una variedad de *Pinus ponderosa*, contiene una «tremen-

tina» compuesta casi enteramente por n-heptano, mientras que el propio *Pinus ponderosa* (de la subsección Australes) no contiene n-heptano, y sí una mezcla de α - y β -pineno y Δ^3 -careno. Ensayos con acetato y mevalonato marcados con C^{14} revelan que el n-heptano se produce directamente de acetato, mientras que la síntesis de monoterpenos sigue el camino del mevalonato, pudiéndose dar como cierto que estas diferencias dependen de la constitución genética de las especies que producen uno y otros compuestos. Las consecuencias no se hicieron esperar. Mirov consideró a *Pinus jeffreyi* como una verdadera especie, y puesto que *Pinus sabiniana*, situado por Shaw en la subsección Macrocarpae, es un gran productor de heptano, sugiere Mirov (1961) que *Pinus jeffreyi* sea trasladado de la subsección Australes a la Macrocarpae. La hibridación de *Pinus jeffreyi* con *Pinus ponderosa* produce unos descendientes que contienen constituyentes de ambos progenitores. En los pinos, los monoterpenos dominantes son, en general, los pinenos, pero *Pinus contorta* produce β -felandreno. Si se cruza este pino con *Pinus banksiana*, que produce α -pineno, la generación F_1 está constituida por individuos que presentan mezclas de los terpenos indicados. Todo hace prever que cuando se conozca mejor la distribución de los compuestos terpénicos de los pinos, puede replantearse la clasificación de ellos (Mirov, 1967).

La química de los terpenos en las plantas está bajo control genético, ya que la naturaleza y cantidades de los constituyentes apenas son afectados por influjo del ambiente o del desarrollo. Existen numerosas pruebas. Por ello, la variación infraespecífica de los datos químicos parece ser una medida válida de algunos procesos evolutivos, y revelan la importancia del estudio

de las poblaciones para comprender la detallada estructura de los táxones.

Los flavonoides, por su variedad y la facilidad con que pueden detectarse o determinarse, tienen un gran valor potencial en estudios quimiotaxonómicos y de evolución, así como en la identificación de híbridos vegetales naturales. De todos estos casos se pueden citar ejemplos, pero nos limitaremos al que ofrecen las plantas acuáticas, que es muy sencillo y demostrativo.

Las angiospermas acuáticas son consideradas descendientes de plantas terrestres, que han revertido a los *hábitats* acuáticos de sus ancestrales. Hay familias enteras que son acuáticas y otras en las que sólo lo son ciertos géneros o especies, y también especies y géneros no relacionados que han adoptado el medio acuático.

Las angiospermas acuáticas son de sumo interés para el biólogo, si se considera que muchas de ellas, no relacionadas entre sí, han adoptado este *hábitat* en muy diferentes tiempos de su historia, experimentando, con sorprendente regularidad, modificaciones morfológicas y fitoquímicas, en ambos casos con una clara tendencia a la simplificación. Las plantas acuáticas suelen adoptar formas morfológicas tan simples y variables por la acción del medio, que su caracterización constituye un verdadero problema para el botánico. Por el contrario, los modelos de distribución de los compuestos secundarios son frecuentemente inequívocos, y por ello del mayor interés en la sistemática de las plantas acuáticas. Sin embargo, dos hechos relevantes y a la vez desconcertantes son a considerar aquí: en primer lugar, no se conoce la significación

biológica de los compuestos secundarios, ni la verdadera causa de los cambios ocasionados en ellos por las condiciones ambientales, lo que hace difícil deducir consecuencia alguna de su continuada existencia en un taxon y, en segundo lugar, la biosíntesis de por lo menos algunos de estos compuestos se efectúa según modelos definidos y predecibles, operando por ello en su producción controles reguladores bien establecidos.

Las Lemnaceae son una familia de plantas acuáticas idónea para demostraciones quimiotaxonómicas. La simplicidad morfológica de esta familia es tan acusada que apenas es posible en sus especies distinguir el tallo de la hoja, haciendo difícil su caracterización. Estas plantas florecen con dificultad, pero se multiplican asexualmente con facilidad. El estudio de 186 clones, representantes de 22 de las aproximadamente 28 especies que componen la familia, permitía suponer que muchas especies se entremezclaban morfológicamente hasta el extremo de hacerse virtualmente indistinguibles. Sin embargo, la química flavonoide —se han hallado 47 compuestos en 22 especies— es tan fidedigna en esta familia que fue posible identificar la composición de las indicadas sustancias en la especie, lo que indica falta de entrecruzamiento, o bien quedar éste limitado a los individuos de un simple clon, y revelar además otros hechos biológicos importantes.

El examen de los flavonoides y de las ligninas, producidos ambos por el camino de biosíntesis de los fenilpropanoides, permiten reconocer en las Lemnaceae, de acuerdo con los hallazgos morfológicos y embriológicos, las relaciones filogenéticas entre los géneros de la familia. La consecuencia es que los compuestos secundarios son de valor quimiotaxonómico en las Lemnaceae, y posiblemente en otros táxones de angiospermas acuáticas.

La hibridación e introgresión plantean problemas muy interesantes en la química de las sustancias secundarias. En las plantas híbridas de *Baptisia*, se presentaba la combinación de flavonoides de los progenitores, y ocasionalmente otros compuestos flavonoides únicos para el híbrido (Alston y colab., 1962, 1965). Igualmente compleja e interesante se revela la química alcaloídica. Por ejemplo, en un análisis de híbridos de *Baptisia leucophaea* por *Baptisia sphaerocarpa* (Cranmer, 1965; Cranmer y Turner, 1967), se probaba que no sólo no mostraban la química, simple o combinada, de los progenitores, sino además una variación cuantitativa sorprendente. En las poblaciones de una sola especie de este mismo género puede darse una gran variación en su composición alcaloídica. En la química alcaloídica de ciertas especies del género *Nicotiana*, se aprecia un alcaloide representativo, que se halla en una relación relativamente constante con otros, afines, de su mismo grupo. Estas especies convierten en su alcaloide representativo a otro alcaloide afín a él dado de fuente externa. Así, el sistema genético-fisiológico funciona no sólo para la biosíntesis de los alcaloides a partir de metabolitos primarios, sino también para estas transformaciones de claro signo secundario. En definitiva, el factor genético-fisiológico es de suma importancia en Quimiotaxonomía. La Quimiotaxonomía, igual que la Citología, puede contribuir, y no precisamente de modo accesorio, a la caracterización de híbridos, en casos en que resulta difícil mediante la apreciación de caracteres morfológicos externos y anatómicos. La hibridación se revela de modo inequívoco cuando los híbridos forman compuestos no existentes en los progenitores.

La presencia de compuestos secundarios puede servir no sólo para la caracterización de especies con fines

simplemente sistemáticos, sino también para conocer el curso de su evolución y su grado de desarrollo filogenético, ya que existen «caracteres químicos» primitivos y avanzados, como sucede con los morfológicos. Se puede opinar con razón que toda evolución comprende cambios químicos, relacionados, en cierto modo, con los caracteres externos utilizados en Taxonomía. La evolución puede ser convergente, paralela y divergente. Examinemos un ejemplo: las betalainas, que parecen actuar como alternativas con antocianinas, se las consideraba confinadas a las Centrospermae (o Caryophyllales), pero las Caryophyllaceae, considerada la familia representativa del orden, carecen de betalainas, teniendo, en su lugar, antocianinas.

En la familia de las pináceas hay conductos en el leño que contienen ácidos resínicos —como el ácido abiético—. El leño de los verdaderos cedros normalmente no contiene conductos, y el ácido abiético está ausente, pero se encuentra confinado en los conos. A este respecto, habría quizá que mencionar que no sabemos casi nada acerca de la química de las células individuales de un tejido anatómicamente homogéneo. Sin embargo, cuando se regenera vegetativamente una planta o un tejido «formador» de una determinada sustancia, a partir de una célula o tejido «no formador» de ella, se probaba que todas sus células vivas poseen la capacidad o totipotencia para formar los restantes tejidos de la planta y, por consiguiente, las sustancias propias de ésta. Así, la diferenciación morfológica y bioquímica de una célula en un tejido, por acción de factores modificantes en él existentes, no han afectado en nada a la capacidad genética, que se conserva potencialmente intacta. Para probar cuál es el órgano o tejido formador de una sustancia secundaria, pueden efectuarse pruebas de injerto, como se

procedió con algunas solanáceas para averiguar los lugares de formación de los alcaloides.

De sumo interés, como carácter indicador de desarrollo filogenético avanzado, es la glucosidación, utilizada por la planta como procedimiento de desintoxicación, ya que las sustancias tóxicas que tienen constitución química apropiada se glucosidan y separan en tejidos muertos de la corteza u otros. Esta capacidad de la planta ha sido utilizada para glucosidar o simplemente asociar sustancias químicas ajenas a ella. Se cuentan por centenares los casos en que se han probado incorporaciones de esta naturaleza o parecidas, siendo a veces de sumo interés aplicado; así la bencilpenicilina se obtiene por adición de un compuesto de bencilo al medio de fermentación.

En relación con la glucosidación, se presenta un caso notable en el trébol blanco (*Trifolium repens*); en esta especie hay algunas plantas que contienen un glucósido cianogénico pero no el enzima que lo hidroliza, otras tienen únicamente el enzima, y otras todavía carecen del glucósido y el enzima, sin que se manifiesten, entre todas estas plantas, diferencias morfológicas claras; en definitiva, un interesante problema taxonómico, genético y fisiológico, como hay muchos conocidos y un número indeterminado por conocer, cuyo estudio ordenado puede llevarnos a consecuencias filogenéticas.

Las sustancias secundarias son una caja de sorpresas, ya que además de sus «enigmas» genético-fisiológicos, brevemente expuestos, desarrollan actividades aleloquímicas, polucionantes, distorsionantes, protectoras y otras, frecuentemente también de valor taxonómico. Con estas acciones se conocen compuestos

ácido fenólicos, flavonoides, terpenoides, alcaloides y cianuros orgánicos, que pueden separarse de las plantas por gutación, arrastre por la lluvia, separación por la raíz y por descomposición del material vegetal. Seguidamente examinaremos algunos ejemplos de estos tipos de acción. Con propiedades aleloquímicas —o control biológico de organismos por agentes químicos producidos por otros organismos— pueden mencionarse el caso de la yuglona, que lavada al suelo de las hojas de nogal (*Yuglans nigra* y *Yuglans regia*), inhibe el crecimiento de otras plantas vecinas (Bode, 1958), o los productos de descomposición de residuos en el suelo de plantas de fleo, maíz, centeno y tabaco, que producen sustancias marcadamente inhibitorias de la germinación, crecimiento y respiración de plántulas de tabaco (Patrick y Koch, 1958). En las plantas se encuentran también sustancias, llamadas por Eisner y Halpern (1971) factores distorsionantes, que influyen indirectamente sobre el gusto por ellas producido. Un caso bien conocido es el ácido gimnémico, de las hojas de *Gymnema sylvestre*, en las que deprime la sensación de dulzor; la hoja es así protegida de los depredadores. Muchas plantas separan constantemente al medio sustancias orgánicas volátiles fuertemente aromáticas, que con frecuencia disuaden también a los depredadores. Cuando estas sustancias llegan, desde el suelo o por el rocío, a otras plantas, ejercen sobre ellas efectos inhibitorios. Un caso digno de atención se observa en el género *Primula*. De las 500 o más especies y subespecies de este género, por lo menos la mitad muestra en tallos y hojas unos diminutos pelos glandulares que segregan un polvo blanco o amarillo, comúnmente denominado «harina», en cuya composición figuran en gran proporción flavona y sustancias relacionadas. La formación de «harina» es de importancia taxonómica al definir el género *Primula* y las

secciones en que ha sido dividido. Secreciones similares se han encontrado también en el género *Dyonisia*, parecido a *Primula*, y en otros de helechos. Es posible que los productos de la secreción sean nocivos, y que se trate de una verdadera eliminación.

El taxónomo dispone, en la actualidad, para su labor de ordenar filogenéticamente las especies de una serie de caracteres y pruebas —morfológicos externos e internos; embriológicos; hibridación e injerto; parasitismo; palinológicos; paleobotánicos; genéticos; químicos— que por su diversidad tienen que proceder de distintos especialistas, aunque todos ellos deben tener presente la finalidad de su trabajo, alcanzar el conocimiento completo de cada taxon viviente en la actualidad o extinguido. Todos los caracteres que contribuyen al conocimiento de la biología de la planta son importantes para el biólogo, y ninguno de ellos puede ser bien interpretado sin un cierto conocimiento de los demás; sin embargo, hemos prestado mayor atención a la quimiotaxonomía porque la búsqueda de caracteres quimiotaxonómicos nos va revelando la fantasía química desarrollada por la planta, utilizable, unas veces, para diferenciar las especies, otras para seguir el hilo de su curso filogenético, y al mismo tiempo para descubrir sustancias de inestimable valor terapéutico o técnico. Y todo ello elaborado por una «técnica» increíble, a partir de un gas nocivo, como el dióxido de carbono, agua y unas cuantas sales minerales.

La clasificación de las plantas, en la medida que lo han permitido los sistemas naturales, por ejemplo, los de Engler y Prantl o Bentham y Hooker, por citar algunos, es el resultado de muchos años de paciente observación y comparación de caracteres. Por ello, la

Química sólo puede aportar, de momento, evidencia adicional e independiente, prácticamente como un carácter más a considerar.

El quimiotaxónomo, a veces, puede cometer faltas de tipo biológico, que invalidan sus datos. Entre las faltas más corrientes figuran: una incorrecta determinación taxonómica de las especies analizadas; el análisis de un solo individuo, por no comprender que los caracteres químicos están expuestos a variabilidad y que se dan formas híbridas, como para los caracteres morfológicos; el compuesto puede hallarse en algún órgano o tejido excluido del análisis; la muestra puede haber sido tomada en algún momento del ciclo de desarrollo de la planta en que el compuesto no se había formado o había variado sustancialmente de nivel; y no haber tenido en cuenta los cambios enzimáticos que puede experimentar la sustancia desde el momento de la recolección de la muestra hasta su análisis. Estas causas de error han sido señaladas por los quimiotaxónomos calificados como determinantes de las contradicciones en los datos sobre las sustancias de presunto valor taxonómico. Probablemente la Quimiotaxonomía se halle en un momento tan incierto y excitante para el botánico como la Sistemática se hallaba en tiempos de Linneo, aunque el quimiotaxónomo cuenta ya con el orden y la terminología de la Taxonomía clásica.

Cuando se hayan estudiado en numerosas familias, géneros, especies, subespecies y variedades, los grupos de sustancias con supuesto valor taxonómico, es posible que puedan apreciarse desde un plano superior, diferencias específicas y relaciones filogenéticas, ya que los principios que rigen el metabolismo se traducen en unos caminos de síntesis, según modelos bien

establecidos que después se matizan, probablemente, en diferencias a distintos niveles taxonómicos. Pero esto es un ideal que está por probar.

En resumen, la planta, a partir de dióxido de carbono, agua, unas cuantas sales minerales y la luz del sol, forma tal diversidad de compuestos, que constituye un verdadero desafío para el fitoquímico, el fisiólogo vegetal, el bioquímico, el farmacognosta, el genético, el botánico y el biólogo, y resulta pueril discutir a quien compete su estudio. El botánico busca rasgos químicos diferenciales entre los táxones, el fitoquímico se sirve de la quimiotaxonomía para tratar de hallar sustancias de interés técnico y el farmacognosta las de aplicación terapéutica, el genético la vinculación de estas sustancias al genoma de la planta, el fisiólogo vegetal los caminos de síntesis de ellas en condiciones normales y bajo la acción de los factores modificantes, el biólogo una relación filogenética, y el bioquímico está presente en muchas de las actividades indicadas.

Hace años que se publican informes de diversas organizaciones, conclusiones de congresos y reuniones a distintos niveles, y también libros y artículos científicos o periodísticos, que nos advierten, unas veces en forma dramática y otras en la de prudentes consejos, acerca del incierto futuro de la humanidad, debido al destrozo del ambiente ocasionado por la superpoblación de la Tierra y la civilización industrial. Para conocer y prevenir en lo posible estos males, muchos países han creado organismos, sociedades, comisiones, y hasta ministerios, como en Francia, para la protec-

ción de la naturaleza y el medio ambiente. La preocupación se ha salido de los límites de los expertos y de las ocasiones en que el problema se debate entre ellos, para ser tratado también por otros sectores de la sociedad. En un congreso de filósofos celebrado en Perusa, en el verano de 1970, después de examinar cómo el progreso puede arrastrar al hombre a un «espantoso apocalipsis», se formularon la pregunta: ¿vamos hacia el «terricidio»? René Dumont, del Movimiento Ecológico Francés, se presentó como candidato a la Presidencia de la República Francesa únicamente para llamar la atención acerca de los riesgos de la sociedad industrial, y brindó con un vaso de agua, asegurando que París carecería del imprescindible líquido dentro de 20 años.

El problema no podría ser tratado con más conocimiento y brillantez de lo que ya, en tantas ocasiones, lo ha sido. Sin embargo, el tema de este Discurso, por muy libremente que se trate, lleva implícito, por lo menos, un breve examen de la coexistencia del hombre y las plantas, en el medio que comparten, máxime cuando tal coexistencia ha dejado de ser pacífica por la acción avasalladora del hombre, que parece decidido a poner en riesgo de aniquilación a los únicos seres sin los que, en modo alguno, podría vivir. Examinemos algunos de los puntos de este aspecto sombrío de la historia del hombre.

En tiempos de Cristo, la población mundial podría haber sido de unos 25 millones de habitantes. En 1980 nacerá la persona número 4.000 millones, y en el año 2000 serán 6.000 millones los habitantes de la Tierra. La población humana tardó muchos años en alcanzar la cifra de 1.000 millones; sin embargo, para pasar de 3.000 a 4.000 millones sólo necesitaremos poco más

de 15 años. En todos estos cálculos hay, por supuesto, grandes márgenes de error, pero la magnitud real de las cifras sigue siendo impresionante. La población no puede crecer indefinidamente, aunque la tasa de crecimiento fuese pequeña, si el hombre desea continuar hilando su historia.

Los cálculos acerca de la población que puede soportar la Tierra se fundamentan en el espacio de la tierra cultivable disponible y en la cantidad de alimento que tal espacio puede producir. Si el único factor limitante fuese únicamente la fotosíntesis, en la Tierra podrían vivir, según cálculos de Wit (1967), un billón de personas, pero como al área requerida para la fotosíntesis habría que añadir 750 metros cuadrados por persona, para servicio urbano y recreo, la población posible sería de 146.000 millones. Al ritmo de crecimiento actual, en 200 años pueden alcanzarse los 100.000 millones de personas en la Tierra. La U.S. Atomic Energy Commission hace un cálculo sumamente optimista respecto a la posibilidad de un aumento de la población mundial, apoyándose en el progreso técnico, que permitiría obtener en cantidad suficiente agua de mar desalada, fertilizantes, y efectuar el reciclamiento de desechos, con lo que se suprimiría la contaminación.

La magnitud del problema de la nutrición de la humanidad no está condicionado únicamente por el número de personas que pueden poblar la Tierra y la capacidad de ésta para producir alimentos a nivel de mera subsistencia, con limitación del desarrollo orgánico, incluso de la capacidad mental, sino también de la calidad de la nutrición, es decir, adecuada para el desarrollo integral de la persona. El hombre debe, además, cambiar la preocupación de sobrevivir por la

satisfacción de vivir, y «hacer de la vida humana algo más civilizado de lo que hemos conseguido hasta ahora», según expresión de Arnold Toynbee. Entiendo yo que el problema moral no es más seres humanos desgraciados en la Tierra, sino más felicidad para los seres humanos.

La fuente primaria de todo alimento es, según se ha indicado, la fotosíntesis, realizada por las plantas verdes. Así, la capacidad de producción de éstas será el único factor verdaderamente limitante de la vida humana y animal. La productividad neta o capacidad de las plantas para fijar dióxido de carbono y transformarlo, mediante el proceso fotosintético, en materia orgánica, varía enormemente según el tipo de vegetación, natural o cultivada, y de una serie de condiciones que dependen del hombre. Para la producción de alimentos se cuenta con la tierra y las aguas. Particularmente en la tierra, existe la posibilidad de aumentar la producción por ampliación del área cultivada o por la intensificación del cultivo en la actual, para obtener dos, tres o más cosechas por año, sembrando híbridos de alto rendimiento y ciclo de desarrollo corto, y la aplicación masiva de fertilizantes y pesticidas. En este procedimiento ha consistido la «revolución verde», basada en el cultivo de trigo y maíz híbrido, puesta en acción como necesidad apremiante, para alimentar, en el límite de la inanición, a los pueblos subdesarrollados. Pero, este procedimiento sólo es aplicable a corto plazo, como una tregua hasta hallar mejores soluciones, ya que los costes de laboreo, fertilizantes y pesticidas, y sobre todo los daños ocasionados en el propio medio donde tales cosechas forzadas se obtiene y en otros ecosistemas lo hacen muy gravoso e impracticable como técnica de cultivo habitual.

En los mares, las algas unicelulares del plancton efectúan también fotosíntesis, seguida de la formación de numerosos compuestos orgánicos, a partir de dióxido de carbono, nitrógeno, fósforo, azufre y otros muchos elementos, y desprendimiento de oxígeno. Esta «producción primaria» por la flora del plancton sirve de alimento a la fauna marina, cuya importancia para la nutrición humana no es necesario resaltar.

Las algas que crecen de modo natural o cultivadas constituyen una reserva nutritiva actual o potencial muy importante. En el agua delimitada por una hectárea de superficie, pueden crecer 100 toneladas de algas. Según las especies, tienen un peso seco de hasta el 35 por ciento, y son muy ricas en proteína.

Existe la posibilidad de aumentar la producción de alimentos, y debe hacerse, no sólo para erradicar el hambre en muchas áreas de la Tierra, sino también para que la dieta nutritiva sea apropiada. Es necesario recordar que la nutrición de cerca de cuatro quintas partes de la población mundial es deficiente en proteínas.

La posibilidad de mantener habitable la Tierra depende del grado de perturbación que la superpoblación y la civilización industrial ocasionen en la ecosfera. La ecosfera, o parte habitada de la Tierra, presenta un alto grado de organización, y está constituida por innumerables ecosistemas, organizados, a su vez, por otros más pequeños, y así sucesivamente. Cada ecosistema está constituido de poblaciones de especies que se interaccionan entre sí y con los factores físicos del medio, habiendo adquirido, a lo largo de su evolución biológica y fisicoquímica, una gran estabilidad, que lo hace autorregulable. Tales ecosistemas se han

producido durante la historia de la Tierra, en un proceso largo, que el hombre, en modo alguno, puede reproducir, y cuya perturbación puede ocasionarle riesgos imprevisibles.

La ecosfera tiene, como se ha indicado, una larga historia, que se inició en una Tierra terriblemente inhóspita, en un ambiente de gases venenosos e inertes (metano, monóxido y dióxido de carbono, amoníaco y nitrógeno), de descargas eléctricas y radiaciones mortíferas (ultravioleta). Así se formaron las primeras moléculas orgánicas, y de ellas las más remotas formas de vida. Estos elementalísimos organismos eran anaerobios y heterótrofos —se nutrían de las moléculas orgánicas que no habían sido transformadas en formas vivientes—, y no podían soportar las radiaciones, particularmente las ultravioleta, por lo que vivían sumergidos, a suficiente profundidad en el agua o en los sedimentos, para protegerse. La primera indicación de vida que se posee es un microorganismo parecido a una bacteria, hallado en la formación geológica denominada Figtree, de Africa del Sur, de hace algo más de tres mil millones de años. Preston Cloud, de la Universidad de California, ha encontrado carbono en unas variedades de calcedonia de Suasilandia, en Santa Bárbara, aún más antiguas que la formación geológica anterior, pero ningún resto de material biológico. Mil millones de años después debieron desarrollarse las primeras células procarióticas con capacidad para realizar fotosíntesis, y con ello el cambio del modo de vida heterótrofo fermentativo a autótrofo. Se efectuó así, durante un tiempo de acomodación que no ha podido precisarse, la más grande revolución biológica que jamás se haya producido en la Tierra. Los nuevos organismos «aprendieron» a descomponer la molécula de agua, separando oxígeno, convirtiéndolo

se parte de éste en ozono, lo que permitió, en un proceso lento que duró cientos de millones de años, la creación gradual de una atmósfera, que impedía el paso de los rayos solares más destructivos, preparándose así el salto a la tierra de los organismos acuáticos. Estos primeros organismos aerobios debieron tomar el oxígeno para su metabolismo oxidativo, a través de sus paredes y a concentraciones muy bajas, pero era necesario un nivel de organización más desarrollado y el oxígeno atmosférico para poder efectuar un metabolismo oxidativo más evolucionado. Se tienen pruebas de la existencia de algas verdeazules en arrecifes de hace unos dos mil millones de años. El período de la microflora procariótica precambriana debió durar cerca de la mitad de la historia biológica total de la Tierra. Como consecuencia de este cambio, debieron extinguirse muchos organismos que no podían soportar el oxígeno libre. De las células procarióticas —sin mecanismo mitótico ni mitocondrias—, se produjeron las eucarióticas —con núcleo y otros orgánulos—, como consecuencia natural de las nuevas condiciones creadas por una atmósfera que contenía oxígeno. Cloud y Gabor han hallado en rocas de California pruebas de la existencia de células eucarióticas, de hace aproximadamente mil trescientos millones de años. En la formación geológica Gunflint, de Ontario, de hace unos mil millones de años, han hallado Tyler y Baghoorn, de la Universidad de Harvard, algas filamentosas verdeazuladas fotosintetizadoras y nitro fijadoras. Las células tuvieron que hacerse terrestres, además de eucarióticas y aerobias, para poder evolucionar y dar origen a toda la diversidad evolutiva de los últimos quinientos millones de años. El argumento es lógico, debido a que no existen organismos pluricelulares anaerobios, ni las células procarióticas pueden considerarse bien diferenciadas. En el paso de la vida

acuática a la terrestre —que debió producirse hace unos cuatrocientos millones de años— las nuevas especies evolucionaron, obteniendo mayor cantidad de energía y una respiración más eficiente, y a causa de ello un ritmo de crecimiento más intenso.

La consecuencia es que algas, hongos y bacterias se hallan entre las plantas más antiguas, remontándose su presencia en la Tierra al precambriano, hace mil quinientos millones de años. Organismos similares, con ligeras modificaciones, no evolucionados, se encuentran en la flora actual. En el paleozoico, en los estratos más bajos correspondientes al ordoviciense, se han encontrado algas calcáreas (incrustadas en cal), y en el siluriano, y mejor todavía en el devoniano (hace 275 millones de años), se presentan restos de verdaderas plantas terrestres derivadas de las algas, que, de modo gradual, colonizaron primero las orillas fangosas, y después *hábitats* más secos, evolucionando como verdaderas precursoras de todas las plantas terrestres, excepto las fanerógamas. Existe una correlación entre la migración de la vida vegetal a la tierra y la evolución del sistema vascular. El carbonífero superior —pensilvaniense en la estratigrafía americana— ha sido denominado «edad de los helechos», debido a los numerosos frondes de estas plantas hallados en los estratos geológicos, y con ellos helechos con semillas, considerados precursores de las fanerógamas y, en lugares pantanosos, plantas parecidas a *Equisetum*, *Lycopodium* y *Selaginella*, y también musgos y hepáticas. En el cretáceo, aparecen las angiospermas haciéndose dominantes sobre las demás plantas. El estudio del material fósil revela que plantas destacadas en floras antiguas no se encuentra en otras posteriores. La flora ha ido cambiando con la historia de la Tierra, a medida que las estirpes progresan filoge-

néticamente, es decir, evolucionan. La evolución continúa, siendo imprevisible su curso. Así, en cada área de la Tierra se desarrolló una flora y una fauna particularmente adaptadas a las condiciones en ella reinantes. Las nuevas estirpes de plantas y animales utilizaban energía solar, nutrientes minerales, agua y los recursos de otros seres vivos, produciéndose un reciclamiento de materiales que mantiene el estado nutritivo y unas condiciones físicas para la supervivencia de las poblaciones. Así se han ido creando ecosistemas sumamente estables.

Según predicciones acerca de la duración probable del sistema solar, la ecosfera podrá seguir siendo habitable por mucho más tiempo que el estimado para la duración del género *Homo*, que pudiera ser todavía de dos millones de años. Dice Hutchinson, que debemos considerarnos en nuestra infancia, especialmente cuando nos entran impulsos destructores.

La ecosfera en que vivimos ha necesitado para formarse, como es en la actualidad, miles de millones de años. La supresión de una población en un ecosistema por la acción de un agente químico representa la sustitución de uno de sus controles biológicos, gestado en tan lento y laborioso proceso, por uno tecnológico, aplicado, con la mayor frecuencia, sin más consideración biológica que la «necesidad» de destruir una de las poblaciones del ecosistema, sin pensar en sus consecuencias. El hecho parece sencillo, y hasta es posible que sea beneficioso y no perturbe demasiado las relaciones biológicas de las restantes poblaciones, pero no debe olvidarse la experiencia del DDT, respecto a la responsabilidad con que se aplican los pesticidas. Si se abusa de los controles tecnológicos puede producirse un caos irreversible, que ponga en serio riesgo

la vida en la Tierra. Y si una especie fuese erradicada del todo, se habrá suprimido un factor biológico que no volverá a producirse, porque las condiciones que le dieron origen no se repetirán y, además, se habrá roto definitivamente la línea evolutiva de su estirpe.

¿Qué efectos pueden ocasionar las actividades humanas —cultivo intensivo, industrialización, urbanizaciones, construcción de aeropuertos, autopistas y carreteras— a la intensidad con que se están efectuando, sobre los ecosistemas?

El hombre comenzó desde muy antiguo a reestructurar el medio. Taló bosques, cultivó especies vegetales comestibles y sembró hierba para pasto de sus animales, continuando después con las actividades antes indicadas. El resultado ha sido que la humanidad se enfrenta hoy con una crisis ecológica grave, que puede ser catastrófica, por la imposibilidad que existe de detener el progreso de la sociedad de consumo, tal como está planteado, y reemplazarlo por otras formas de progreso probablemente más saludables.

Es cierto también que con los modernos métodos fitotécnicos se ha creado razas más tolerantes al frío, más resistentes a la sequía, menos susceptibles a las enfermedades, más productivas y más ricas en proteínas, que han sido obtenidas, por selección e hibridación, de una gran reserva de otras preexistentes, que prácticamente se pierden al ser reemplazadas por las nuevas. Esta situación aparentemente ventajosa tiene un futuro incierto, según se verá a continuación.

La expansión del área de tierra cultivada y la aplicación de los métodos de la moderna Agricultura, a fin de aumentar la producción de alimentos, introducen

por sí solas, enormes perturbaciones en los ecosistemas. Son de destacar:

a) El aprovechamiento por el hombre únicamente de las especies y variedades que le habían sido de utilidad antes de su cultivo, quedando las demás todavía silvestres, en sus lugares de origen, como un inapreciable tesoro genético que puede ser barrido por la civilización, perdiéndose definitivamente. La diversidad genética es fundamental para la producción e introducción de plantas, a fin de poder desarrollar nuevos híbridos resistentes a plagas, así como a las enfermedades y los rigores climáticos, ya que la resistencia a las enfermedades no es una cualidad permanente, sino, por el contrario, continuamente cambiante. Es fundamental la conservación de la reserva mundial de recursos genéticos, el «banco de genes» de que dispone la humanidad. La mayoría de estas variedades se encuentran en los países subdesarrollados, como plantas cultivadas según procedimientos tradicionales o, como se ha indicado, en estado silvestre en *hábitats* poco alterados todavía por el hombre. En una conferencia celebrada por la FAO en 1967, se llegó a la conclusión de que la reserva de genes está disminuyendo peligrosamente. Los centros de diversificación son irresponsablemente destruidos, por distintas causas.

b) El uso de fertilizantes inorgánicos es una de las grandes conquistas de la nueva agricultura, desde que Liebig, en 1840, estableciese con toda claridad los principios de la nutrición mineral de las plantas, pero su aplicación incorrecta está ocasionando problemas de difícil solución. Entre ellos, la contaminación de los sistemas de agua dulce a causa de la «escorrentía», como la producida por nitratos, que pueden ocasionar me-

tahemoglobinemia en el hombre y en los animales; la disminución de los rendimientos debido al empobrecimiento lento, pero inevitable, del suelo, por agotamiento de los elementos no reponibles, como el fósforo, del que cada año se van 3.5 millones de toneladas al mar. Por ello, se recomienda, en lo posible, sustituir parcialmente, y de modo creciente, los fertilizantes inorgánicos por abonos orgánicos, la rotación con leguminosas y la diversificación de cultivos, pero todo esto es imposible bajo la apremiante necesidad de alimento para una población hambrienta, que crece sin cesar.

c) La aplicación de insecticidas para reemplazar los controles autorreguladores. Si al tiempo que se destruyen los insectos perjudiciales se destruyesen también las bacterias fijadoras de nitrógeno o los insectos polinizadores, ¿cómo valorar la catástrofe biológica producida? ¿Qué técnica podría reemplazar el caos ecológico ocasionado y cuál sería el futuro de la humanidad sin tales pacíficos y altamente beneficiosos compañeros del hombre? Sería recomendable reducir, en todo caso, el uso de insecticidas y la sustitución de los persistentes, y lo mejor, siempre que sea posible, establecer controles biológicos.

El modo de vida de la sociedad industrial es insostenible, por su propia naturaleza, por los productos que se le roban al medio ambiente y por los elementos contaminantes que se le devuelven. Además, destruye los ecosistemas, y con ello los fundamentos de la existencia.

Hay productos considerados verdaderas conquistas de la sociedad industrial que son ya una pesadilla o pueden serlo en un futuro muy próximo, como los

plásticos, las fibras sintéticas, los detergentes, los insecticidas (particularmente el DDT), los defoliantes, los fertilizantes químicos, la energía nuclear, y otros innumerables agentes también nocivos, que contaminan la tierra, el agua y la atmósfera, además del petróleo que de una u otra forma se vierte en los mares, y los contaminantes altamente tóxicos como el plomo y el mercurio.

También los ciclos de los componentes del aire están siendo alterados, ocasionando cambios en su proporción. La atmósfera, creada a lo largo de millones de años, desde que las bacterias «aprendieron» a descomponer el agua, separando oxígeno, hasta hoy mismo, está siendo perturbada seriamente.

El hombre aprendió a fijar el nitrógeno molecular atmosférico para obtener fertilizantes y explosivos, aunque fueron estos últimos el mayor incentivo para la invención del procedimiento catalítico de fijación de nitrógeno, por Fritz Haber y Karl Bosch en 1914, en Alemania. El resultado ha sido que la fijación de nitrógeno atmosférico por procedimientos técnicos y por intensificación del cultivo de leguminosas, representa un 10 por ciento más respecto a la cantidad normalmente fijada por la naturaleza, con lo que, además de desequilibrar la composición atmosférica, se recargan de compuestos nitrogenados los ríos y lagos, cuyas aguas se hacen inservibles para el consumo humano.

El aumento de dióxido de carbono por la combustión de carbono fósil y otras actividades industriales, no parece tener, de momento, consecuencias graves, debido al papel regulador de las aguas de los océanos y de sus fondos calizos.

La totalidad del oxígeno que se encuentra hoy en la atmósfera se debe a la actividad fotosintética de las plantas, lo que prueba la importancia de la vegetación para la vida sobre la Tierra. Hay científicos que profetizan que quizá llegue un día en el que a nuestros descendientes les «falte el aire», debido a que el progreso técnico consume ingentes cantidades de oxígeno. La vegetación en las zonas industriales repone sólo el 60 por ciento del consumido, pero, de momento, es compensado por los constantes movimientos del aire.

La energía solar sustenta todos los sistemas biológicos, pero el aumento de la población humana en todo el mundo, está desviando la distribución de esta energía dentro de los ecosistemas. ¿Cuáles pueden ser las consecuencias?

Sumido en reflexiones sobre tanto caos ecológico vienen a mi mente unos versos, casi olvidados, del poeta Beddoes.*

*La naturaleza está viciada.
Hay un hombre en cada rincón secreto de ella
realizando hechos malditos y malvados. Tú eres
viejo mundo, una antiquísima estrella
atea y asesina.*

* David Procaccini, «Revista», número de abril de 1971.

Han sido expuestos algunos de los hechos más destacados que definen la importancia de las plantas. El número de disciplinas nacidas de la Botánica, desde el gran desarrollo iniciado por ésta en el siglo XIX, es cada vez mayor, apareciendo además últimamente, como consecuencia de los adelantos técnicos y de una renovación de ideas en Biología, las disciplinas híbridas, de las que es ejemplo la Quimiotaxonomía, y otras altamente especializadas como las que se ocupan de la morfología a nivel molecular, bioquímica de la fotosíntesis, estructura molecular y acción de las sustancias de crecimiento, fotobiología, fisiología y bioquímica de sustancias fenólicas, o bien de terpenos o alcaloides, etc. Así, nuestras enseñanzas botánicas están quedando reducidas a una gran simplicidad. Además de las disciplinas generales impartidas a cursos multitudinarios o muy numerosos, debiera programarse, del modo más ordenado y razonado, una diversificación de enseñanzas, a fin de ofrecer a los estudiantes opciones para su *curriculum* que les permitiese especializarse e iniciarse en la investigación. Para esta labor debieran aprovecharse todos los recursos humanos y materiales que ofrece la Universidad. Y, sobre todo, es necesaria, más que nada, una comunicación constante entre todos los que, de un modo u otro, enseñan, investigan o están interesados por este mundo fabuloso de las plantas.

La profesionalización progresiva de la Universidad, y las condiciones todas que se dan en ella para la enseñanza y la investigación, hacen que su labor quede limitada a la transmisión, un tanto expeditiva, de saberes, sin apenas posibilidades de desarrollar actividad imaginativa y creadora. Para la Universidad, la actividad creadora es tan necesaria como para la vida el oxígeno. La investigación no puede realizarse con ac-

ciones esporádicas, circunstanciales. Por el contrario, la investigación requiere tradición, continuidad, preservada de todo evento. La historia del hombre revela, de modo inequívoco, que para crear ciencia y tradición científica son necesarias dos condiciones tan biológicas como personas con espíritu investigador y ambiente apropiado para que éste se manifieste. Esta es la cuestión.



BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- BAKER HERBERT. G. — *Plants and Civilization*. Macmillan. 1972.
- BATE-SMITH, E. C. — *Chemistry and Taxonomy of Plants*.
En: *Chemotaxonomy and Serotaxonomy*. Ed. J. G. Hawkes. Academic Press. 1968.
- BEER, GAVIN DE. — *The Darwin-Wallace Centenary*. *Endeavour* 17. (66) April, 1958.
- BELL, E. A. — *Comparative Biochemistry of Non-protein Amino Acids*.
En: *Chemotaxonomy of Leguminosae*. Ed. J. B. Harborne, D. Boulter and B. L. Turner. Academic Press. 1971.
- BOLD HAROLD, C. — *The Plant Kingdom*. Englewood Clift, New Jersey. Prentice-Hall, Inc. 1960.
En: *Selected Botanical Papers*. Ed. I. W. Knobloch. Prentice-Hall, Inc. 1969.
- BOULTER, D. — *Taxonomic Aspects of the Structure of Legume Proteins*.
En: *Chemotaxonomy of Leguminosae*. Ed. J. B. Harborne, D. Boulter and B. L. Turner. Academic Press. 1971.
- BOULTER, D. and D. A. THUMAN. — *Acrylamide Gel Electrophoresis of Protein in Plant Systematics*.
En: *Chemotaxonomy and Serotaxonomy*. Ed. J. G. Hawkes. Academic Press. 1968.
- BROWN LESTER, R. — *La producción humana de alimentos como un proceso de la biosfera*.
En: *La Biosfera*. Alianza Editorial. 1972.
- CAMP, W. H. — *The Herbarium in Scientific Research*. *Journal of the New York Botanical Garden*, 42, 1941.
- CARR, N. G. and I. W. CRAIG. — *The Relationship between Bacteria, Blue-green algae and Chloroplasts*.
En: *Phytochemical Phylogeny*. Ed. J. B. Harborne. Academic Press. 1970.

- DELWICHE, C. C. — El ciclo del nitrógeno.
En: La Biosfera. Alianza Editorial. 1972.
- DUBRIDGE, L. A. — The Inquiring Mind. Engineering and Science Magazine, October, 1954.
- ECHLIN, PATRICK. — The Origin of Plants.
En: Phytochemical Phylogeny. Ed. J. B. Harborne. Academic Press. 1970.
- ERDTMAN, HOLGER. — The Assessment of Biochemical Techniques in Plant Taxonomy.
En: Chemotaxonomy and Serotaxonomy. Ed. J. G. Hawkes. Academic Press. 1968.
- GIBBS, R. DARNLEY. — Chemotaxonomy of Flowering Plants. McGill-Queens University Press. Vol. I, 1974.
- GOLDSMITH, E., R. ALLEN, M. ALLABY, J. DAVULL, S. LAWRENCE. — Manifiesto para la supervivencia. Alianza Editorial. 1972.
- HARBORNE, J. B. — Biochemical Systematics.
En: Progress in Phytochemistry. Interscience Publishers, 1968.
- HARBORNE, J. B. — The Use of Secondary Chemical Characters in the Systematics of Higher Plants.
En: Chemotaxonomy and Serotaxonomy. Ed. J. G. Hawkes. Academic Press. 1968.
- HARBORNE, J. B. — Distribution of Flavonoids in the Leguminosae.
En: Chemotaxonomy of Leguminosae. Ed. by J. B. Harborne, D. Boulter and B. L. Turner. Academic Press. 1971.
- HUTCHINSON, G. EVELYN. — Los mecanismos cíclicos generales de la vida en la Tierra.
En: La Biosfera. Alianza Editorial. 1972.
- KLOZ, J. — Serology of Leguminosae.
En: Chemotaxonomy of Leguminosae. Ed. J. B. Harborne, D. Boulter and B. L. Turner. Academic Press. 1971.
- LINNEAUS, CAROLUS. — Excerpts from the Critica Botanica.
En: Selected Botanical Papers. Ed. I. W. Knobloch. Prentice-Hall, Inc. 1969.
- MARBRY TOM, J. — Intraspecific Variaton of Sesquiterpene Lactones in *Ambrossia* (Compositae): Applications to Evolutionary Problems at the Populational Level.
En: Phytochemical Phylogeny. Ed. J. B. Harborne. Academic Press. 1970.

- McCLURE JERRY, W. — Secondary Constituents of Aquatic Angiosperms.
En: Phytochemical Phylogeny. Ed. J. B. Harborne. Academic Press. 1970.
- MEARS JAMES, A. and TOM J. MABRY. — Alkaloid in the Leguminosae.
En: Chemotaxonomy of Leguminosae. Ed. J. B. Harborne, D. Boulter and B. L. Turner. Academic Press. 1971.
- MERRILL ELMER, DREW. — Plants and Civilizations. Scientific Montly **43**, 1936.
En: Selected Botanical Papers. Ed. I. W. Knobloch. Prentice-Hall, Inc. 1969.
- MERXMÜLLER, HERMAN. — Moderne Probleme der Pflanzensystematik. Westdeutscher Verlag. Köln und Opladen. 1968.
- MILLER LAWRENCE, P. — Plants as Organic Laboratories.
En: Phytochemistry. Ed. L. P. Miller. Van Nostrand Reinhold Company, Vol. I, 1973.
- PIÑOL, MARIA TERESA. — Crecimiento y Metabolismo Nitrogenado en Plantas de **Nicotiana rústica**. L. Tesis 1974. Inédita.
- PROCACCINI, DAVID. — Apocalipsis en Norteamérica. Revista, abril, 1971.
- RIBERI, MARIANA. — Defender la Tierra para defender al hombre. Revista, abril, 1971.
- ROBBINS WILLIAM, J. — The Importance of Plants. Ann. Rept. Smith. Instit. for 1945,1946.
En: Selected Botanical Papers. Ed. I. W. Knobloch. Prentice-Hall, Inc. 1969.
- SAGRADA BIBLIA. — Versión E. Nacar y A. Colunga. Biblioteca de Autores Cristianos. 1966.
- SETLER STANWYN, G. — Botany - A passingphase? AIBS Bulletin. December. 1963.
- SHAW, G. — Sporopollenin.
En: Phytochemical Phylogeny. Ed. J. B. Harborne. Academic Press. 1970.
- SMITH Jr. C. EARLE. — How Dead? How Soon? Bio Science. January, 1964.
- SMITH Jr. C. EARLE. — How Soon? Bio Science. January. 1964.
- THURMAN, D. A. — Comparative Studies of Legume Enzymes.
En: Chemotaxonomy of Leguminosae. Ed. J. B. Harborne, D. Boulter and B. L. Turner. Academic Press. 1971.
- TOMS, G. C. — Phytohaemagglutinins.
En: Chemotaxonomy of Leguminosae. Ed. J. B. Harborne, D. Boulter and B. L. Turner. Academic Press. 1971.
- TURNER, B. L. — Molecular Aproaches to Populational Problems: At the Intraspecific Level.
En: Phytochemical Phylogeny. Ed. J. B. Harborne. Academic Press. 1970.

- TURNER, B. L. — Implications of the Biochemical Data: A Summing Up.
En: Chemotaxonomy of Leguminosae. Ed. J. B. Harborne, D. Boulter and B. L. Turner. Academic Press. 1971.
- VOIGT, JÜRGEN. — Destrucción del equilibrio biológico. Alianza Editorial 1971.
- WADDINGTON, C. H.
En: Un siglo después de Darwin. 1. La Evolución. Alianza Editorial, 1969.
- WALLACE, ALFRED RUSSELL. — The Debt of Science to Darwin.
En: Selected Botanical Papers. Ed. I. W. Knobloch. Prentice-Hall, Inc. 1969.
- WATTS, R. L. — Proteins and Plant Phylogeny.
En: Phytochemical Phylogeny. Ed. J. B. Harborne. Academic Press. 1970.
- WILSIE, CARROL P. — Cultivos: Aclimatación y distribución. Editorial Acribia. Zaragoza. Versión española de la primera edición norteamericana de 1962.
- WOODWELL, GEORGE, M. — El ciclo de la energía de la biosfera.
En: la Biosfera. Alianza Editorial. 1972.
- YOUNGKEN Jr., H. W. — Botany and Medicine. American Journal of Botany 43, 1956.