

# **La Química Agrícola de Liebig: una forma de integración de conocimientos**

SEGUNDO JIMÉNEZ GÓMEZ

*Académico de Número de la Real Academia de Farmacia*

## **1. INTRODUCCIÓN**

Cuando esta Real Academia me hizo el honroso encargo de participar en la conmemoración del segundo centenario del fallecimiento de Lavoisier, inicié mi intervención partiendo de la idea, oída hacía años a Vian y que él mismo ya no recordaba, de que el flujo pulsante de los grandes progresos del conocimiento, se explicaban al coincidir en el tiempo una élite de científicos cuyas aportaciones se potenciaban recíprocamente.

En la Edad Moderna, los primeros indicios de tan fecundo fenómeno aparecen en el siglo XVII y se ratifican en el XVIII, en el que las ideas de Descartes orientan el pensamiento y la experimentación en las Ciencias Naturales hacia la búsqueda de la evidencia, tras el análisis coherente de los hechos reiteradamente repetidos de los que cabría deducir las regulaciones cuantificadas de la Materia y, posteriormente, de la Naturaleza. El siglo XIX, que ocupa la vida de Liebig, es el final de la llamada “época clásica” del desarrollo científico y de la consolidación de la Química como Ciencia, en la que la experimentación es el punto de referencia para descubrir correlaciones lógicas y formular las leyes que las rigen.

Y todo ello tiene lugar desde la fuerza determinadas ideas que, incluso, pueden después ser rechazadas tras de su minucioso análisis crítico. Tal es el caso de la tan conocida piedra filosofal, sobre la que el propio Liebig dice que “La imaginación más viva no es capaz de idear un pensamiento que actúe más poderosamente sobre las facultades humanas que la propia idea de la piedra filosofal. Sin ella la Química no habría alcanzado su perfección actual....” aunque “para llegar a saber que no existía fue

indispensable que todas las sustancias accesibles.....se examinasen y observasen.” Es decir, sigue Liebig, que “la fuerza de la opinión no pudo ser aniquilada hasta que la ciencia no hubo alcanzado un determinado nivel de desarrollo”.

En estas frases reconoce Liebig dos cosas: el valor de la imaginación en el quehacer científico y la necesidad de validar con garantía los resultados; ambos indispensables en la búsqueda del conocimiento. Pero con ellas viene a confirmar también el difundido criterio de que el cúmulo de conocimientos aportados a lo largo del siglo a la Química Mineral, es decir, Inorgánica, parecían haber hecho de ésta una Ciencia terminada, con lo que se estaban poniendo fronteras al campo. Sin embargo, Liebig era consciente de las limitaciones de la alquimia, al decir de ella que “era sólo la débil aurora de una idea”.

En otro momento, ya bien afianzada la Química como Ciencia, Liebig llega a decir que si “¿no es acaso esta Ciencia (la Química) la propia piedra filosofal capaz de transformar los ingredientes de la corteza terrestre en productos útiles que a su vez el comercio convierte en oro? ¿Es que el conocimiento no es acaso la piedra filosofal que nos ofrece descubrir las leyes de la vida y que, felizmente, nos entrega los medios de prolongarla y de curar las enfermedades? “.

La idea de ciencia acabada perduró mucho tiempo, pues Berthelot (1827-1907), ya bien avanzado el siglo, se atrevía a decir que “nada queda por descubrir en Química”. Yo me pregunto ¿cuál sería hoy su asombro, y el de sus contemporáneos, ante la magnitud de los conocimientos de la Química inorgánica, ante los materiales avanzados y los productos obtenidos bajo presión, los super-conductores y semi conductores, los derivados de tierras raras, los organometálicos, los múltiples tipos de catalizadores y tantos otros que harían interminable esta enumeración? .

Posiblemente, este criterio fue determinante para la expansión de la Química Orgánica, que encontró en Liebig uno de sus principales fundadores. Sin embargo, la Química Agrícola, se inicia en buena parte en el ámbito de la

Química Inorgánica, aunque enseguida alcanzó al de la Orgánica, al estudiarse la influencia de la naturaleza y de la estructura del suelo sobre la producción vegetal.

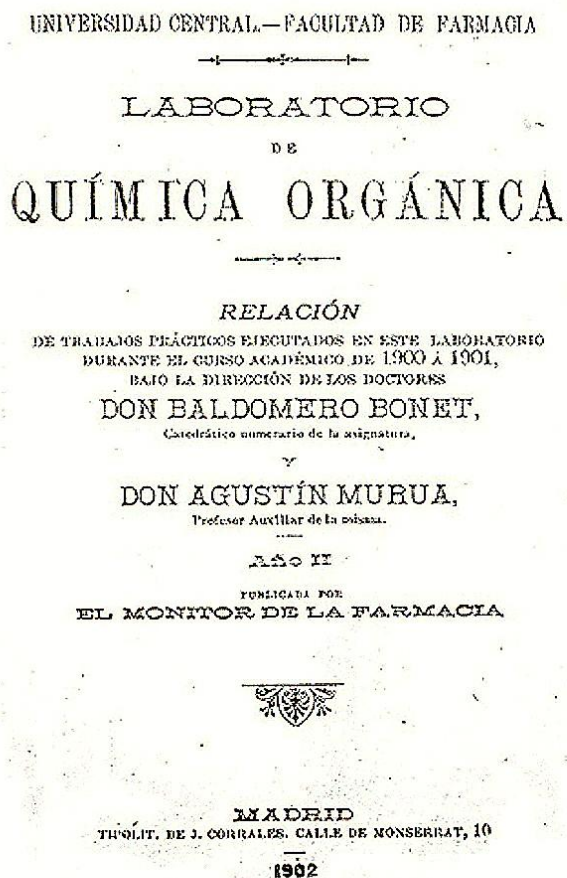


FIGURA 6

Las aportaciones de Liebig se producen en ambos campos. En el Inorgánico, destaca claramente la industria de fertilizantes, aunque pueden citarse otras muchas como el tratamiento especular del vidrio. En el dominio de la Química orgánica deben de figurar, al menos, la oxidación del etanol a ácido acético, la síntesis de ácido tartárico, algunas consideraciones sobre la isomería, etc,

Asimismo, intuyó la existencia de un mecanismo para los procesos de fermentación, de forma que existía una correlación entre el sustrato fermentable y las sustancias que actúan como agentes del proceso, es decir, los fermentos. Sin embargo, hubo de esperar a que Pasteur lo demostrara con claridad, en 1857.

Una nómina importante de cualificados científicos contribuyó a esa potenciación sinérgica a que antes aludía. Entre ellos Jean Batiste André Dumas (1800-18849), que se dedicó a métodos analíticos y a sustituciones en compuestos orgánicos, y aunque compartió con Liebig ideas sobre nutrición vegetal, no dejó de mantener con él controversias, y hasta discrepancias, en relación con la equivalencia química. Contemporáneos de Liebig y cultivadores de la Química Orgánica fueron, igualmente, Woehler (1800-1882), buen amigo y colaborador de suyo, Leopold Gmelin (1788-1853), Stanislao Cannizaro (1826-1910) y, lógicamente, su discípulo Friedrich August Kekulé, quien antes que Químico fue Arquitecto lo que puede explicar su dedicación a las estructuras de las moléculas químicas. Y hay algunos más que ya se irán citando a lo largo de esta exposición.

Al preocuparse con intensidad por el conocimiento de la materia, se dedicó también a la Fisiología, porque era de esa Ciencia de donde se podían extraer los datos que permiten interpretar los hechos que caracterizan la vida de las especies. De aquí, que pusiera un notorio empeño en buscar las reacciones químicas que tienen lugar en los organismos vegetales y animales, y que la Química Fisiológica le facilitara el estudio de algunos procesos en las plantas y en los animales hasta concluir que la energía vital se origina en combustiones intracelulares.

En alimentación animal esto tiene su lógica dada la naturaleza de las ingestas, pero no así en la vegetal donde, con independencia de los nutrientes captados del suelo, las mayores cantidades nutrientes proceden del aire. Es decir, busca con empeño el eslabón que integre los comportamientos de la materia animada e y de la inanimada, y para ello trabajó Liebig con el apoyo de la Química Fisiológica.

## **2. LIEBIG Y LA QUÍMICA AGRÍCOLA**

El siglo XIX trajo a Europa una gran preocupación por la disponibilidad de alimentos. La base del problema se encontraba en la aparición de un parásito que destruía las cosechas de patatas, con la consecuencia de un mayor consumo de cereales y su progresivo encarecimiento. Además, y como factor añadido, la producción de cereales disminuyó al dedicarse una parte no desdeñable de la tradicional superficie cerealista a producir raíces de invierno y especies herbáceas (trébol y alfalfa), para potenciar la producción ganadera. Al mismo tiempo se introducía la rotación de cultivos para mejorar la fertilidad de los suelos.

Ante el gran interés por aumentar la producción de cereales, se intensificó la recurrencia a viejas prácticas, más o menos empíricas, como el encalado de suelos y el aporte de guano, ambas conocidas desde épocas remotas sin que se supiese con exactitud sus causas. El encalado, es una forma de corregir la acidez de suelos, y el guano es la deyección de determinadas aves de algunas islas del Pacífico y de las costas del sudoeste de África, que se encuentra formando bancos que tienen hasta 20 metros de espesor. Se suponía que aportaba nitrógeno dados los buenos resultados que se conseguían con su uso, lo que dio origen, hacia 1840, a que se mantuviera un considerable comercio de este producto con las costas del Pacífico. Hoy, efectivamente, se sabe que aporta nitrógeno por contener del orden del 25% de ácido úrico, aunque, desgraciadamente, se sepa también que el guano del Ártico está contaminado por materiales radiactivos procedentes de Chernobil.

En 1831 se fundó en Inglaterra la British Association for the Advancement for Science (Asociación Británica para el Avance de la Ciencia), como respuesta a determinados problemas surgidos en el seno de la Royal Societe. Uno de los actos de la Asociación de mayor trascendencia fue encargar a Liebig un informe sobre la Química Agrícola, que este asumió con tal entusiasmo, que no se limitó a las cuestiones de fertilidad sino que alcanzó hasta la producción alimentaria.

No hay duda de que este trabajo fue el punto de partida de la Química del Suelo y de la Nutrición, razones suficientes para que se le considere como el creador de la Química Agrícola.

La pérdida de capacidad productiva de un suelo agrícola como consecuencia de su uso reiterado era un hecho conocido desde hacía siglos, al igual que lo eran los intentos empíricos por impedirlo incorporando al suelo ciertos de residuos, como cenizas, huesos, materia orgánica, etc.

La literatura de épocas remotas es abundante en citas históricas, mitológicas y bíblicas de este tipo. En el primer milenio (b.C) hay alusiones al uso del estiércol en Homero (Odisea), Jenofonte, Teofrasto y algunos otros escritores. Este último se refiere también al salitre y al entierro de leguminosas como medio para mejorar el rendimiento de las cosechas, ¡lo cual, y aunque ignoraran la causa, era tener noticia de la fijación natural del nitrógeno atmosférico! Dos siglos después Plinio el Antiguo o el Naturalista vuelven a aludir al salitre para fertilizar las plantas, aunque debieran haber dicho los suelos, y hablan del empleo de salmuera en el cultivo de las palmeras. En el Código Deuteronomico (12.16) se prohíbe comer la sangre de los animales, que debe de ser derramada sobre la tierra como el agua. En la Biblia se encuentra un pasaje en el que el viñador pide al Señor que le autorice a no arrancar su viña durante un año por si después de cavada y abonada con estiércol diera fruto al año siguiente. Colmuela, en el siglo I, escribe un Tratado sobre Economía Agraria en el que insiste en la necesidad de devolver al suelo los residuos naturales, y ya en los más recientes siglos XVI y XVII, Palisy (1510-15877) y el Médico Botánico alemán Bäuer

(1672), éste en su Tratado de Agricultura, amplían el valor del estiércol al contenido de sus sales.

Todas estas citas tienen hoy su justificación puesto que el estiércol contiene nutrientes vegetales reutilizables, la sangre proteínas y por tanto nitrógeno, y las habas, como leguminosas tienen la virtud de fijar el nitrógeno del aire.

Pocas decenas de años después de iniciada la Agricultura como actividad económica del hombre sedentario, y pese a la baja población, se observó que el suelo se agotaba y se hacía improductivo. Se recurrió entonces a roturar nuevas tierras y aparecieron así los cultivos itinerantes.

En el siglo XIX, con Liebig a la cabeza, se estudiaron muchas cuestiones relacionadas con el crecimiento de las plantas y se buscó por vía experimental la identidad de los principales nutrientes y la forma en que podían ser más económicamente aportados. A lo largo del siglo se incrementó considerablemente el número de nutrientes conocido, hasta figurar entre ellos elementos tales como carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, etc. Después, durante el siglo XX, se tuvo noticia de la necesidad de micronutrientes, en cuantía de ppm o de ppb, como hierro, flúor, cinc, cobre, manganeso, cromo, cobalto, etc, aunque con alguno de ellos la planta actúe sólo como trasmisor a los animales, en especial para el hombre, que los ingiere asociados a los tradicionales nutrientes de hidratos de carbono, lípidos y proteínas.

Pero no le fue fácil a Liebig que le aceptaran sus criterios. Mediado el siglo XIX todavía el Bureau of Soils del Departamento de Agricultura de USA, mantenía el criterio de que el suelo era una fuente inagotable de recursos minerales para las plantas, si los cultivos estaban adecuadamente dirigidos. Estimaba este Departamento que los buenos efectos de los fertilizantes no se debían a su función nutriente, sino a que destruían sustancias tóxicas del suelo, lo que por otra parte podía conseguirse por rotación de cultivos.

Para Liebig, sin embargo, la cuestión no tenía duda: las plantas tomaban del suelo sales minerales que, después, había que reponer para mantener la fertilidad. “Llegará un día -decía Liebig- en que según las clases de plantas de que se trate, se añadirá a los campos la cantidad que necesiten de sustancias minerales y estos abonos se producirán en grandes fábricas”. El siglo XX ha sido testigo de la certeza de esta afirmación y también de los abusos a que se ha sometido su aplicación, hasta el extremo de llegar a cuestionarse por su impacto contaminante.

Pero Liebig no sólo supo que las plantas necesitaban nutrientes, sino que sus requerimientos eran distintos, cualitativa y cuantitativamente, según la clase, a pesar de que entonces no pudiera precisarse ni el qué ni el cuánto. Estos hechos fueron avances importantes de la Química Agrícola, que tenían el valor de ser el resultado de aplicar el método científico a la interpretación y conocimiento de la nutrición vegetal, hasta entonces sumergida en el empirismo.

El progresivo conocimiento de los ciclos biogeoquímicos que participan en la nutrición vegetal, ha hecho del suelo algo más que un simple soporte. En varias ocasiones, personalmente, lo he definido como un reactor físico-químico y biológico, supuesto que es el lugar de confluencia y eliminación de residuos. En el suelo -decía el Prof. Albareda y completó más tarde otro cualificado Académico de esta Casa, el Prof Carpena-, se verifica el retorno de lo biológico a lo geológico hasta quedar en situación de reiniciarse el ciclo a lo biológico. Situación perfecta si no fuera porque sólo una parte del fotosintato de la planta se mantiene allí donde se genera; el resto se exporta para el consumo, lo que supone una pérdida de nutrientes que hay que reponer.

Esta pérdida es cada día mayor, merced a que determinadas mejoras genéticas, que casi siempre tienen su origen en causas económicas, como es el consumo de agua, han dado lugar a que el fotosintato útil de una planta, es decir el que se consume y exporta, haya aumentado considerablemente respecto del peso total de la misma; en los casos del arroz, trigo y maíz, la proporción de fotosintato útil puede alcanzar ya hasta el 50%.



El primer fertilizante fosfórico utilizado en Europa fueron los restos de huesos, aunque hacia 1830, y por iniciativa de Liebig, su eficacia se mejoró al tratarlos con ácido sulfúrico diluido, porque el fosfato tricálcico insoluble pasa a un fosfato ácido más soluble. Se llegaron a usar, incluso, huesos de osarios humanos. En 1843, John Lawes repitió el proceso con roca fosfórica, y obtuvo un fertilizante de gran eficacia al que se denominó superfosfato que, al igual que el producto tratado de huesos, además de fósforo aportaba azufre y calcio. Con posterioridad a 1950 se ha obtenido un producto concentrado tratando la roca fosfórica con ácido fosfórico, y más tarde se han desarrollado productos dobles, que contienen nitrógeno y fósforo bajo las especies de fosfatos mono y diamónicos, y triples que contienen los tres nutrientes básicos.

El nitrógeno se aplicaba inicialmente en forma de amoníaco, recuperado en la fabricación de coque y en la de gas del alumbrado. Más tarde se tomó del aire, primero como cianamida cálcica y a partir de 1913 por síntesis directa, según el método de Haber-Bosch. Todo ello indica que hoy no hay problemas para su disponibilidad. Pero hay algo singular que conviene no perder de vista: La fijación total del nitrógeno se evalúa en unas 275 MM de toneladas año, y de ellas sólo 70 MM proceden de síntesis, 30 MM tienen su origen en causas naturales o en actividades económicas antrópicas distintas a la síntesis de fertilizantes, y 175 MM proceden de fijación biológica. La primitiva práctica empírica de enterrar habas en verde quedó plenamente justificada cuando Hellriegel, en 1888, es decir, poco después del fallecimiento de Liebig, descubrió la fijación del nitrógeno atmosférico por la asociación simbiótica de bacterias del suelo tipo *Rizobium*, con plantas leguminosas. Es de esperar que, hacia el futuro, para disponer de nitrógeno fertilizante baste buscar la especie leguminosa más eficaz, o desarrollar al amparo de la Biología Molecular alguna con poder de fijación superior a los conocidos.

Las necesidades de potasio son menos críticas pues el elemento se encuentra en las arcillas y es de fácil meteorización. La sal más difundida es el cloruro potásico, producto natural con alto contenido de potasio; pero

como la incidencia del cloruro sobre la nutrición de la planta es negativa, y aquí hay otra prueba del avance de conocimientos en nutrición vegetal, se procura sustituir con nitrato o sulfato potásico. La importancia del potasio se debe a que forma parte del protoplasma celular e interviene en la fotosíntesis.

En poco más de medio siglo se ha pasado de la resistencia al empleo de fertilizantes a usarlos en demasía, lo que los convierte en contaminantes de los suelos, aguas y atmósfera. La de suelos y aguas es lógica, pero también ocurre en cuantía no pequeña la del aire porque el amonio en el suelo puede volatilizarse como amoniaco y es objeto de acciones bacterianas, en una de las cuales se transforma en  $N_2O$ , gas que contamina el aire y tiene un acusado efecto invernadero.

La fertilización ideal debe armonizar el suministro de nutrientes con las necesidades de la planta que se cultiva, que varían según la fase de crecimiento de aquella. Y para satisfacer esta exigencia, y evitar la contaminación por fertilizantes, se han desarrollado los fertilizantes de liberación lenta y, mejor aún, los de liberación controlada, sobre los que ya hace tiempo se trabaja con éxito bajo tres directrices: productos recubiertos, de baja solubilidad y control microbiano de nitrificación; las tres ofrecen excelentes perspectivas.

### 3. LIEBIG Y EL SUELO AGRÍCOLA

“La prosperidad de los pueblos depende de la duración de la fertilidad de suelo” decía Liebig en su obra sobre “Leyes Naturales de la Agricultura”. Sin embargo, él no valoró el suelo sólo como depósito de nutrientes o soporte de cultivo, sino como algo que participa íntegramente en la producción vegetal. Se trata de un sustrato heterogéneo en el que cada uno de sus componentes cumple una función productiva. En este sentido, y junto con su contemporáneo Boussingault, consiguió que se abandonara la hipótesis del humus como fuente exclusiva del carbono de las plantas, demostrando que el suministrador es el aire, a través del  $CO_2$ , con lo que abre el campo al estudio

químico-agrícola del suelo y de las funciones de cada una de las tres fases heterogéneas que le integran: Sólida, líquida y gaseosa.

La fase sólida, de enorme complejidad, esta conformada por materiales inorgánicos y orgánicos; y entre estos hay microorganismos, organismos vivos y restos vegetales en diversos grados de evolución, entre ellos el humus, cada uno de los cuales realiza una función químico-agrícola específica, complementaria de la biológica que realizan los microorganismos. La fase líquida tiene una finalidad nutriente y de transporte de nutrientes, y la fase gaseosa es la base del mecanismo evolutivo de los materiales orgánicos y está formada un aire empobrecido en oxígeno y enriquecido en CO<sub>2</sub>, que se expulsa a la atmósfera.

La parte húmica de la fase orgánica del suelo juega en el complejo edáfico un variado número de funciones. Le dota de una estructura estable y porosa que facilita el intercambio entre las fases sólida y líquida, mantiene la temperatura del suelo y amortigua sus variaciones gracias al color negro, incrementa la capacidad de retención de agua hasta llegar a ser veinte veces el peso de los ácidos húmicos, estabiliza el pH mediante sus grupos de ácidos débiles y básicos nitrogenados, tienen una capacidad de cambio catiónico, entre tres y nueve veces superior a la de la arcilla, le dota de una capacidad de cambio aniónico y de poder quelante, etc.

Una parte, no pequeña, de todos estos fenómenos procede de la época de Liebig, y aparece descrita en una obra de 1880 titulada “La Oficina de Farmacia Española”, aunque entonces no se supieran interpretar.

Abierto por Liebig este campo de estudio, se continuó después con indiscutible éxito por un considerable número de investigadores europeos, de los que buena parte fueron recopilados por nuestro compañero el Prof González González durante su intervención en la Sesión conmemorativa del centenario del nacimiento del Prof. Albareda celebrada el pasado año en esta Real Academia.

Pero en estos trabajos ya no eran sólo de Química Agrícola, sino de una nueva disciplina nacida a su amparo y enriquecida con la Física, la

Biología, la Geología, la Microbiología y la Fisiología Vegetal, que se denominó Edafología, y se ocupa del estudio científico del suelo en cuanto sirve de base para su aprovechamiento agrícola. Entre los primeros estudiosos de la Edafología hay que citar al ruso Vassili Vassilievith Dokuchaev (1846-1903), contemporáneo de Liebig (1846-1903), cuya tesis doctoral es un claro trabajo sobre Ciencia del Suelo.

Su introducción en España, incluso del nombre, se debe a Emilio Huguet del Villar (1871-1951), que en 1932 fue designado Director del Insituto Mediterráneo de Suelos, creado ese mismo año y desaparecido en 1939, aunque en 1942 bajo el impulso de Albareda se creaba el Instituto de Edafología.

Entre las publicaciones citadas por González en el artículo de referencia, y fundamentalmente en las relativas al segundo y tercer cuartos del siglo XX, aparecen nombres brillantes que también figuran en nuestro Anuario como Académicos de Número y que de alguna manera, o quizá de muchas, son continuadores de los trabajos de Liebig, inicialmente denominados químico- agrícolas. Junto al nombre de Albareda aparecen los de Santos Ruiz, Gutiérrez Ríos, Hoyos de Castro, Vicente Aleixandre, Lorenzo Vilas, el propio Gaspar González, etc, a los que todavía habría que añadir los igualmente Académicos de Número que, en un principio pertenecieron al “Club Edafos” y después siguieron nuevas directrices nacidas o convergentes con las anteriores como son Julio Rodríguez Villanueva, Manuel Losada, Manuel Ruiz Amil, sin olvidar al primer Catedrático de Química Agrícola, Octavio Carpena y al de Bioquímica de la Escuela de I. Agrónomos de Valencia, Eduardo Primo, quienes por su ubicación levantina dieron a sus trabajos una orientación más agrícola. Y permítaseme que cite también a mi Maestro y Director de Tesis Doctoral, Prof Burriel aunque no fuera Académico de esta Corporación.

En este momento, no se puede silenciar el grave problema de la contaminación ambiental. Si exceptúa la derivada de la aplicación de fertilizantes, antes aludida, y la de los fitosanitarios, el suelo es receptor pasivo de contaminantes andrógenos que distorsionan su estructura, alteran

su funcionalidad edáfica, merman su productividad agrícola y le convierten en agente transmisor de contaminantes y de enfermedades. De aquí que, hoy sea obligado mantener una intensa actividad investigadora con el objetivo de buscar de sistemas para proteger y descontaminar suelos, ambos de problemática difícil, y para potenciar su capacidad de autodepuración por vía degradativa o por fitoacumulación. Un ejemplo reciente de estas posibilidades se ha encontrado en el grave vertido de Aznarcollar, donde los científicos ya han seleccionado más de cien especies de plantas con capacidad para acumular metales.

#### **4. LA ATMÓSFERA EN LA QUÍMICA AGRÍCOLA DE LIEBIG**

El carácter integrador de la primitiva Química Agrícola aparece de nuevo al tomar como referencia la atmósfera. Tampoco este aspecto escapó a las observaciones de Liebig, que siempre consideró a “la Naturaleza como un todo en el que los fenómenos están unidos entre sí, como los nudos de una red”. Por ello, su búsqueda de los principios nutritivos de las plantas no se limitó al suelo sino que acudió también a la atmósfera, advirtiendo que no debía darse más importancia a unos que a otros. “Los de forma gaseosa son absorbidos por las hojas y los principios fijos por las raíces”.

En el momento actual el 75% del nitrógeno anualmente requerido por las plantas procede del aire, por fijación directa o indirecta, pero en todo caso, sin necesidad de síntesis química. No se tardará mucho en conseguir que lo sea en su totalidad.

Sin embargo, una de las mejores aportaciones de Liebig fue demostrar que las plantas captaban el carbono del CO<sub>2</sub> atmosférico. Se liberó así a la Agricultura de creer que procedía de los ácidos húmicos. El CO<sub>2</sub> se aporta a la atmósfera por la combustión de materiales carbonados y la respiración de los seres vivos, incluidos aquellos cuyos ecosistemas radican en el propio suelo, y desde allí lo vuelven a tomar las plantas.

Priestley, descubridor del oxígeno, y predecesor de Liebig, hizo la observación de que las plantas regeneraban el aire previamente viciado por la respiración animal. La regeneración consistía en liberar oxígeno. Pero Priestley se quedó corto en su observación, pues no hizo notar la necesidad de que la planta estuviera iluminada. Pocos años después, en 1789, el científico holandés Inghosonzs, completó el descubrimiento al hacer notar la dependencia del fenómeno de la luz del sol.

Parece lógico que esta información llevara a Liebig al convencimiento de que era el  $\text{CO}_2$  la molécula suministradora del oxígeno “regenerador” y del carbono de las plantas, de manera que se trataba de una reacción inversa a la de la respiración o la combustión.

Pero esta reacción tendría que ser endotérmica supuesto que la inversa es exotérmica. Se trata, pues, de una reacción fotocatalítica, que precisa radiaciones de alta energía. En el espectro visible sólo las radiaciones azules son eficaces para las reacciones fotoquímicas energéticamente más difíciles. Sin embargo, como las plantas reciben una energía no seleccionada es lógico utilicen una cantidad que, es treinta o cuarenta veces mayor a la teóricamente necesaria para la fotosíntesis, razón por lo que la planta se defiende con una evaporación intensiva de agua.

Después, y poco a poco, se ha profundizando en el conocimiento de la fotosíntesis, y sin estar todavía definitivamente aclarado el fenómeno, o al menos sin los conocimientos suficientes para repetirlo artificialmente, se sabe que es un proceso complicado y que, aunque de difícil simplificación, puede resumirse en un fenómeno de acumulación de energía mediante las porfirinas, y en concreto de la clorofila que es la más abundante, que después se emplea en formar las primeras moléculas de hidratos de carbono, constituyendo una reserva energética a partir de la cual se construyen las moléculas más complicadas.

Con esto se cierra el ciclo de conversión de materiales abióticos en bióticos, el uso posterior de estos por los consumidores, y su postrer

agotamiento por los degradadores o simplificadores, de forma que les devuelven a su primitiva condición de abióticos.

Pero en esta transformación de abióticos en bióticos la materia experimenta cambios estructurales específicos, es decir, justo en el momento del cambio de la materia inanimada en animada, por lo hay que convenir que el ciclo lleva intrínscico algún escalón más.

Sausgruber, diferencia entre lo viviente y no viviente mediante cuatro puntos de referencia: Gases, cristales, aparatos y organismos. El gas es desorden eficiente y sin función. El cristal es orden eficiente e igualmente sin función. No cabe duda de que entre ambos hay una amplia gradación que va desde el desorden al orden entrópico. El aparato es, al igual que el organismo, orden eficiente y con finalidad, pero sin capacidad para su autorregeneración. En cambio el organismo es orden, eficiencia y finalidad que, además, tiene capacidad de autorregeneración.

La definición de límites está clara. Dista mucho de estarlo la explicación del cómo. La aparición de los primeros microscopios permitió a Hooke, hacia 1655, identificar en unas láminas de corcho unas celdillas que, en realidad, eran el esqueleto subérnico de las células creadas a partir de la celulosa formada en la fotosíntesis. Schleiden (en 1838) y Schwann (en 1840), ambos contemporáneos de Liebig, sugerían que la unidad estructural de la materia viva era la célula. La actual Teoría Celular ratifica este principio añadiendo “que toda célula procede de otra, a través de la cual se trasmite la información genética y que las reacciones químicas de un organismo, es decir su metabolismo, tienen lugar en las células” (Ayala).

A partir de ahí se ha progresado en el saber celular, hasta encontrar que algunos de los orgánulos de las células vegetales, los plástidos, tienen una especificidad estructural y fisiológica que los capacita para realizar variadas funciones que van desde la fotosíntesis a la acumulación de nutrientes (almidón, lípidos y proteínas). De este modo, y a partir de la primitiva Química-Agrícola, en poco menos de 150 años se ha llegado a la Biología Molecular.

## EPÍLOGO

El recuerdo a Liebig en este segundo centenario de su nacimiento supera los límites del reconocimiento científico a su labor para convertirse en un auténtico deber social, que puede extenderse a cuantos sectores socio-económicos se enfrentan hoy con el problema del desarrollo sostenible.

En el siglo en que vivió Liebig el impacto social del desarrollo científico ya había iniciado su influjo sobre el aumento del nivel de vida de la sociedad. Este influjo se ha intensificado durante el último siglo y medio, hasta el punto de que las mejoras de la salud pública y de la alimentación han constituido un beneficio social indiscutible. Sin embargo, también se ha generado un consumo masivo de los recursos naturales, cual si estos fueran susceptibles de una demanda superior a la oferta, por tiempo indeterminado, sin riesgo para su recuperación.

Personajes como Liebig, al preocuparse por conocer los mecanismos de reciclado, prestaron un valioso servicio a las comunidades que iban a sucederle. Nuestra sociedad actual es deudora de aquellos investigadores, al igual que las futuras lo serán de los presentes. Una vez dada la voz de alarma, la Ciencia y la Técnica han aceptado el reto de mantener la sostenibilidad, incluso para una población cuatro veces superior a la de siglo XIX.

Por ello, en reconocimiento a Liebig y a cuantos han aportado algo en esta línea, quiero terminar con la glosa de unos versículos de un salmo (104: 13-15) que refleja la cosmogonía del Génesis sobre la capacidad reproductiva de la naturaleza:

De tus altas moradas abrevas las montañas  
del fruto de tu cielo\* hartas la tierra;  
la hierba haces brotar para el ganado,  
y las plantas para el uso del hombre,



para que saque de la tierra el pan;  
y el vino recrea el corazón del hombre,  
para que lustre su rostro con aceite  
y el pan conforte el corazón del hombre.

### BIBLIOGRAFÍA

- (1) ALBAREDA, J.M. (1943) “El suelo. Estudio físico-químico biológico de su formación y constitución” Ed. SAETA. Madrid.
- (2) ALBAREDA, J.M., SANTOS RUIZ, A. Y ALBIÑANA, T. (1944) “Materia Orgánica en suelos españoles. I Carbono” *Anal. Fis y Quim.* 39, 751-68.
- (3) ALBAREDA, J.M., SANTOS RUIZ, A Y ALBIÑANA, T. (1944) “Materia Orgánica en suelos españoles. II. Nitrógeno y razón C/N”. *Anal. Fis. Quim.* 40. 84-97.
- (4) ALBAREDA, J.M. Y GUTIÉRREZ RÍOS, E. (1942) “Sobre el estudio de los suelos españoles” *Rev. Uni. Madrid* . T.2. Fasc V 3-21.
- (5) AYALA, FRANCISCO J. (2001) “La evolución y la herencia biológica”. En “La Ciencia en tus manos”. Pedro García Barreno (Director). Editorial Espasa Calpe. Madrid.
- (6) BERNAL, JOHN D. (1967) “Historia Social de la Ciencia”. Ediciones Península. Barcelona.
- (7) CARPENA ARTÉS, O. (1976) “Aspectos físicoquímicos de la nutrición vegetal”. Discurso de Ingreso como Académico de Número en la Real Academia de Farmacia. Madrid.
- (8) FERNÁNDEZ SANTAREM, JUAN. (2001) “La célula”. En “La Ciencia en tus manos”. Pedro García Barreno (Director) Editorial Espasa Calpe. Madrid.
- (9) GLOBOT, EDMONT.(1946) “El sistema de las ciencias” Editorial El Ateneo. Buenos Aires.
- (10) GONZÁLEZ GONZÁLEZ, G. (2002) “José M<sup>a</sup> Albareda Herrera: artífice de la Edafología española.” *Anal. Real Acad. Nac. Farma.*, Vol LXVIII, 2, 175-192.
- (11) HOYOS DE CASTRO, A. (1974) “Pasado, presente y futuro de las relaciones entre el hombre y su ambiente”. Discurso de ingreso en la Real Academia de Farmacia. Madrid.

- (12) JIMÉNEZ GÓMEZ, S. (1992) (coordinador) “Fertilizantes de Liberación Lenta”. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.
- (13) JIMÉNEZ GÓMEZ, S. (2001) “Directrices y Perspectivas de la Investigación”. En “Desarrollo e Innovación en la Industria Química”. FEIQUE.
- (14) JIMÉNEZ GÓMEZ, S. (1994) “La materia orgánica edáfica, factor limitante en la Agricultura”. *Anales de la Real Academia de Farmacia*, Vol LX, 3, 437-461.
- (15) LIEBIG, v.J. (1877) “Leyes Naturales de la Agricultura”. Edición francesa revisada por el autor. Paris. Librairie agricole el de la Maison Rustique.- (Tomado de “El aire, el agua y las plantas” de Lino Peñuelas. Ministerio de Fomento. Madrid.
- (16) MUÑOZ, A. (Editor). (2002) “Recursos Mundiales” Ecoespaña Editorial. Madrid.
- (17) POLO, A., HERNÁNDEZ, D. Y FRITIS, H. (2002) “Contaminación y Restaruración de suelos. En “Ciencia y Medio Ambiente” F. Valladares (editor). Centro de Ciencias Medioambientales. Madrid.
- (18) PORTA, J., LÓPEZ ACEVEDO, M. Y ROQUERO, C. (1999) “Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente”. 2ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- (19) READ, JOHN. (1960) “Por la Alquimia a la Química”. Edi. Aguilar.
- (20) SAUSGRUBER, KURT. (1959) “El átomo y el alma” Editorial Herder. Barcelona.
- (21) SCHNERTB, ROBER. (1969) En “Historia General de las Civilizaciones” Vol VI “El Siglo XIX”. Ediciones Destino. Barcelona.
- (22) TISDALE, S.L. Y NELSON, W.L.(1977) “Fertilidad de los suelos y fertilizantes” Editorial Monttaner y Simón. Barcelona.