

Universidad Literaria de Valladolid

DISCURSO
LEÍDO EN LA
SOLEMNE INAUGURACION
DEL
CURSO ACADÉMICO DE 1917 A 1918
POR EL DOCTOR
D. Rafael Luna Nogueras

Catedrático de la Facultad de Ciencias



VALLADOLID
Talleres Tipográficos «Cuesta»
Mañas Picavea, 40

DISCURSO
LEÍDO EN LA
SOLEMNE INAUGURACION
DEL
CURSO ACADÉMICO DE 1917 A 1918

BiCe

Carpeta 171 / 12



1>0 0 0 0 4 6 5 0 7 7

Universidad Literaria de Valladolid

DISCURSO
LEÍDO EN LA
SOLEMNE INAUGURACION
DEL
CURSO ACADÉMICO DE 1917 A 1918
POR EL DOCTOR
D. Rafael Luna Nogueras

Catedrático de la Facultad de Ciencias



VALLADOLID
Talleres Tipográficos «Cuesta»
Macías Picavea, 40

EXCMO. E ILMO. SEÑOR:

SEÑORAS Y SEÑORES:

Considero elemental deber excusar mi presencia en este sitio. Llevar la voz de la Universidad en día solemne y ante concurso tan ilustrado, ocupando esta tribuna radiante de gloria, donde sapientísimos varones expusieron raudales de ciencia con elocuente palabra, cuyo eco para tortura mía no parece aún extinguido, representa audacia, sacrificio o alto concepto del saber propio. Desechad las hipótesis extremas: no soy audaz ni sabio. Entusiasta de la Ciencia química, pero el más modesto de los obreros que en ella laboran, me declaro desde luego incapacitado para salir airoso de tan apurado trance, dándome clara cuenta de las dificultades que acompañan al momento presente. Sírveme de escudo el Reglamento, es verdad, pero la situación sería de mayor compromiso, no contando de antemano con vuestra benevolencia, tanto más segura y extremada, cuanto que procede de personas doctas y siempre la sabiduría fué indulgente.

Largo tiempo dudé acerca del asunto que en este acto pudiera someter a vuestra consideración. Realmente, es difícil la elección de tema y nunca hay seguridad de acierto. En los momentos presentes que, por razones de sobra conocidas, todo el mundo considera críticos para los pueblos y con el convencimiento del poderoso influjo de la Química en las manifestaciones y fases todas de la vida moderna, no estaría demás, pensamos, contribuir al estudio del estado actual de la expresada

ciencia en España, destinando capítulo especial a los distintos aspectos de su enseñanza. Tan profundo sentimiento de tristeza despertaron en mí las primeras consideraciones, que *ipso facto* abandonamos la idea. Por otra parte, nadie ignora la suerte que han corrido trabajos análogos y como en última síntesis habríamos de convenir que, sin medios adecuados y suficientes nada se hace, el resultado de una disertación más sería nulo, pues tal valor alcanza todo producto cuando uno de los factores se reduce a cero. Se me dirá que vamos adelantando. No lo niego: es más, lo afirmo; pero a mi vez argumentaré diciendo, que no caminamos en vehículo apropiado para alcanzar a un expés. Todo evoluciona según un ciclo: el Universo entero está sometido a la misma ley. No importa para nuestro caso que el ciclo sea reversible o irreversible; las consecuencias son las mismas. Si como resultado de no caminar en la misma dirección hay choque, el expés, casi sin enterarse del encuentro que pulverizará la carreta, sigue majestuoso su camino. Si por el contrario, concurren circunstancias de igual dirección, tendencias y aspiraciones, pero las velocidades difieren, la destructora acometida será por la espalda. ¡Efectos idénticos, con menos honor!

Desechado la primera idea y dirigiendo la vista a más positivo campo en busca de asunto que envuelva novedad—según es costumbre presentar en estos casos—concluimos afirmando después de concentradas meditaciones, que sólo hay una materia de verdadero interés: LA GUERRA; ese monstruo que amenaza triturar con sus fauces poderosas todas las naciones del planeta. Conexiones con la Química no faltan para un bonito estudio—que sería digno de cerebro mejor dispuesto—y desde mil aspectos distintos cabría describirlas, llegando a conclusiones que producirían asombro y admiración. ¿Pero cómo un químico puede hablar de la guerra que retuerce e invierte la finalidad y aspiraciones de su ciencia humanitaria y progresiva, presentándola como azote y elemento destructivo? Huyamos del fantasma; escrutemos a través del vidrio del optimismo y un simple buceo

por el dilatado horizonte de tan vasta ciencia, traerá albricias y materiales sobrados para presentar ejemplos edificantes de vitalísimos problemas resueltos por la Química, bien sola, o caminando de consuno con la Mecánica, Física y Biología, miembros inseparables del más robusto y sorprendente mecanismo concebido por el Dios de las alturas y que la humana inteligencia va lentamente poniendo al descubierto, para admirar la grandeza y utilizar sus beneficios.

Fijémonos en las siguientes consideraciones: La alimentación es la más universal e imperiosa de las necesidades de todo ser viviente. Si algún problema puede calificarse de vital, ninguno como el del pan cuya conquista se hace más difícil a medida que el tiempo transcurre. La solución sólo puede encontrarse, aumentando la producción de cereales restituyendo al suelo las materias sustraídas por las cosechas; y como los estiércoles y otros materiales orgánicos adecuados, ya se vió tiempo ha resultaban insuficientes, se hizo indispensable el empleo de substancias minerales o *abonos químicos* en proporción que aumentó de día en día. Es verdad que aún existen en la superficie de la Tierra extensiones no explotadas, pero no debe olvidarse que la fecundidad de los suelos vírgenes, grande en los primeros momentos, experimenta rápido decrecimiento y pronto su entrada en la ley común es un hecho. Además, la población mundial aumenta y como al mismo tiempo se civilizan las razas inferiores que se convierten en consumidoras de pan, por adaptarse a los hábitos de las directoras, la producción de cereales debe ir aumentando por esta doble causa, lo que obliga más y más a forzar los rendimientos del cultivo con el consiguiente consumo de abonos. He aquí la necesidad de poner a disposición de los agricultores tonelaje creciente de materias fertilizantes y en especial nitrogenadas.

Interesa, para ulteriores consecuencias, recordar la procedencia de los abonos minerales utilizados hasta hace tres lustros como manantiales de nitrógeno. Es sabido se reducían a dos, que

a su vez son representantes de las formas *nítrica* y *amoniaca*:
NITRATO SÓDICO Y SULFATO AMÓNICO.

Sin temor a exageración puede decirse que, entre los factores principales del desarrollo de la civilización en la segunda mitad del siglo XIX, llamado *siglo de la luz y del progreso* con sobrado motivo, figura el nitrato exportado por la América del Sur. Iniciado el comercio de tal materia en el año 1825 con un tráfico de 935 toneladas métricas, alcanzó en 1900 la respetable suma de 1.460.000, para elevarse a 2.500.000 en los años 1913-14. Mas la fecundidad de los importantes yacimientos naturales de Chile y Perú, es limitada a no dudar: en 1888 el Gobierno chileno, fijó para 1913 el agotamiento de los depósitos conocidos en la época. Nuevos descubrimientos de la preciosa materia retrasaron la fecha de extinción a 1940 y después, al año 2047. En realidad, es muy difícil conseguir exactitud en estos cálculos desconociendo, entre otras cosas, la progresión del beneficio a partir del actual momento y entrando en escena nuevos factores; pero por incoherentes que resulten las estadísticas, son firmes las conclusiones y se sostiene en pie la amenaza que origina el natural sentimiento de inquietud, al presumir, si en época más o menos lejana, la humanidad puede ser víctima del hambre con todos sus estragos y nefastas consecuencias. No debe tampoco descontarse que, antes de llegar al agotamiento de los campos explotados, la riqueza disminuirá, aumentando en cambio las dificultades para la extracción del nitrógeno. En la actualidad se tratan *caliches*—así es llamada la primera materia—con 22 por 100 de nitrato sódico como término medio, en tanto que los primeros campos daban el 40 por 100 y aún mucho más en determinados casos.

El sulfato amónico es sub-producto procedente de las industrias del cok metalúrgico y gas del alumbrado. La hulla contiene, en efecto, de 1,2 a 1,5 por 100 de nitrógeno y durante el proceso de la destilación, parte se desprende bajo forma de amoniaco, transformable en sulfato por combinación directa o utilizando materias sulfuradas contenidas en los mismos productos

destilados (1), para evitar consumo de ácido sulfúrico, que otras industrias necesitan en cantidades enormes. Se pone de esta suerte a disposición del agricultor $\frac{1}{2}$ del nitrógeno que representa la hulla tratada, o sea de 8 a 10 kg. de sulfato amónico por tonelada de carbón; mas no puede pensarse en recuperar, aun de ese modo parcial, todo el amoniaco de la hulla que se consume en el mundo. Calculada la producción en 1.000 millones de toneladas al año, se obtendrían 8 ó 10 de sulfato amónico, quedando resuelto en toda su extensión el problema del nitrógeno; pero los aires de triunfo no vienen por este camino, sin que pueda negarse el progreso realizado, que con tanta elocuencia pregonan los datos estadísticos. La producción de sulfato amónico que en 1896 alcanzó 33.000 Tm., fué de 537.520 en 1903; de 1.045.905 en 1910, calculándose en 1.500.000 para 1913-14, tonelaje que seguramente habrá de ser rebasado cuando las circunstancias cambien, y más, si persiste después del desastre europeo la tendencia antes iniciada de gasificar la hulla, en vez de utilizar el calor producido por su combustión directa (2).

(1) Al amoniaco acompaña ácido sulfhídrico, con frecuencia en exceso, que suministra azufre; el oxígeno se capta del aire. Han sido patentados varios procedimientos—Young, Dougall, Fabry y Cobb, en Inglaterra; Wolf, en América; Barth, en Alemania, etc.—que en teoría, por lo menos, presentan ciertas ventajas sobre los de *sulfatación directa* y *semi-directa*; pero sólo dos, los de Feld y Burkheiser, han sido objeto de aplicación práctica y como vía de ensayo. Parece ser, que el ideado por Feld tomando como base el lavado de los gases con disoluciones de *polithionatos de amonio*, es el llamado a extenderse.

(2) Contribuirá también a intensificar la producción de nitrógeno amoniacal, el aprovechamiento de desechos de ciertas industrias que tratan enormes masas de primeras materias y puede representar elevadas cifras de nitrógeno orgánico recuperable. Así, por ejemplo: Effront que ha estudiado con detenimiento estas cuestiones—llegando después de pacientísimo y minucioso estudio experimental de orden bioquímico sobre las *amidases bacterianas*, a industrializar un procedimiento tan ingenioso como delicado y elegante, de cuya trascendencia no es posible dudar—dice como resumen en el capítulo que a tal efecto dedica en su magistral libro *Les Catalyseurs biochimiques dans la Vie et l'Industrie*: El nitrógeno orgánico que anualmente se pierde en Europa vertiendo en los ríos vinazas de destilerías que producen alcohol partiendo de

El porvenir, pues, del sulfato amónico, presenta aspecto contrario al del nitrato sódico natural: se ven en el primero aumentos posibles, frente a la amenaza de agotarse los yacimientos del segundo; mas como el sulfato aludido es, en suma, un producto secundario y dependiente como tal de la marcha de otras industrias, a cuyas contingencias se halla supeditado, la cantidad habrá de ser limitada forzosamente, mientras no se encuentren medios de producción directa y se monten fábricas, con vida propia, destinadas al beneficio de los métodos o procedimientos sintéticos.

Este es el problema que se planteó de manera seria y con carácter de inaplazable hace una veintena de años, pensando

cereales y remolacha, representa más de 2 millones de kg., y el contenido en las vinazas procedentes de fermentar melaza que se tratan con objeto de recuperar la potasa, 16 millones de kg. En total, nitrógeno equivalente a 85.000 Tm. de sulfato amónico, al mismo tiempo que se obtendrían de 120.000 a 130.000 Tm. de ácidos grasos—acético y butírico—perfectamente utilizables en especie o destinados a fijar nitrógeno en calidad de alimento bacteriano.

Logra este efecto Effront, modificando la marcha del procedimiento en la forma siguiente: Destiladas las vinazas después de la fermentación amoniacal para recuperar los productos nitrogenados volátiles—amoníaco y trimetilamina—se agrega al líquido tierra de cultivo rica en *azotobacterias* y se deja fermentar a 40° en corriente continua de aire: las sustancias hidrocarbonadas—ácidos citados—experimentan una combustión intensa y la fijación de nitrógeno atmosférico al estado orgánico, sensible desde las primeras horas, alcanza a los cinco o seis días proporciones de 3 ó 4 gramos por litro de líquido.

El nitrógeno absorbido se utiliza de una de estas dos maneras: Decantado el líquido, previo reposo, se lleva el sedimento a filtros-prensas y las masas sólidas obtenidas, una vez secas, constituyen abono nitrogenado complejo de alto poder fertilizante; o bien, después de decantar el líquido claro, se diluye el sedimento o lodo con vinazas frescas, se calienta a 100° durante una hora para esterilizar y se introducen en las cubas de fermentación amoniacal, en plena actividad, para transformar el nitrógeno orgánico.

Patentado el procedimiento Effront en muchos países, funcionó en Nesle—Francia, región del Somme—y empleando las vinazas de una sola destilería, se producían diariamente de 1000 a 1400 kg. de nitrógeno bajo forma de amoníaco y trimetilamina, con 10.000 ó 12.000 kg. de ácidos acético y butírico, casi en partes iguales y en buen estado de pureza.

en las generaciones venideras, sin olvidar las presentes: Procurar baja en la cotización actual de abonos minerales nitrogenados y asegurar el pan a nuestros descendientes más o menos lejanos, legándoles el mayor de los beneficios y un alto ejemplo de laboriosidad, cultura y altruismo.

El aire contiene en peso 75,46 por 100 de nitrógeno ¿por qué no explotar, se dijo, esta mina inagotable (1) que a plena luz se ofrece desde la superficie de la Tierra hasta las *regiones del geocoronio*; donde huelgan los pozos, galerías y entibados; que no tiene dueño conocido y con igual riqueza se presenta así

(1) En absoluto inagotable por la enorme cantidad de nitrógeno que la total masa del aire encierra y su regeneración incesante. Suponiendo una producción anual de materia nitrogenada equivalente a 5 millones de toneladas de nitrato sódico puro, o sea doble peso del comercial suministrado por los yacimientos naturales en las épocas de mayor consumo, hemos calculado en 823.529.412 kg. la cantidad de nitrógeno que representa y por tanto, si fuera posible agotar el contenido en el aire, habría reservas para más de 4.857 millones de años, según la existencia que más adelante se indica, con otros datos de interés.

Composición del aire seco por metro cúbico (H. Erdmann).

Gases principales...	{	780,3 litros de nitrógeno.....	975,80 gramos.
		209,9 » de oxígeno... ..	299,84 »
		9,4 » de argo.....	16,76 »
		0,3 » de anhídrido carb.º.	0,59 »
		0,1 » de hidrógeno.....	0,01 »
			1293,00 gramos.
Gases nobles o raros.	{	0,012 litros de neo.....	0,011 gramos.
		0,004 » de helio.....	0,0007 »
		0,00005 » de cripto.....	0,00019 »
		0,000006 » de xeno.....	0,000035 »

El nitrógeno contenido en la columna de aire que gravita sobre 1 m² —nivel del mar—descontando con exceso el peso correspondiente al vapor de agua—1,3 por 100 en volumen=0,84 por 100 en peso—, no baja de 7720 kg. o sea 7.720.000 Tm. por km.²

Calculando en 509.950.000 km.² la superficie de la Tierra, resultan aproximadamente 4 × 10¹⁵ Tm. para el total de nitrógeno atmosférico.

Con el nitrógeno correspondiente a una hectárea pueden obtenerse, 468.714 Tm. de nitrato sódico puro, que tasado a 300 pesetas unidad, valdría más de 140 millones.

en los mares y continentes como en los valles y montañas? ¿Por qué no transformar ese nitrógeno que parece autónomo y alejado de los procesos vitales, en ácido nítrico que el agricultor logrará convertir bajo el influjo de síntesis poderosas que en los organismos vegetales radican, en materias nutritivas sostén del hombre e inspiradoras de su inteligencia, al mismo tiempo que el industrial elabora aprovechando sus propiedades químicas, piroxilina, colodión, celuloide, seda artificial, pólvoras sin humo y ordinarias, dinamita y demás explosivos, materias colorantes diversas, nitratos, ácido sulfúrico y otros cien artículos objeto de activo comercio?

Tal es el asunto que nos proponemos tratar «FIJACIÓN INDUSTRIAL DEL NITRÓGENO ATMOSFÉRICO» problema que ha llegado a la más culminante de sus fases, después de absorber la atención de cuantos al estudio de la Química mineral dedicaron sus energías desde final del siglo XIX, no siendo menor la preocupación despertada en el campo de la Biología, ciencia que por veredas propias, pero siempre en íntimo consorcio con la Química, aunque con antagonismos a veces, más aparentes que reales, camina hacia la consecución de los mismos fines.

La Química y la Biología han conseguido uno de sus mayores triunfos; hay que proclamarlo así. El mecanismo está descubierto: convendrá afinar los medios; modificar brazos de palanca; afirmar puntos de apoyo; perfeccionar, en una palabra, la conquista, intensificando la producción; pero ya el nitrógeno que antaño se conducía casi como los actuales *gases nobles* mostrándose rebelde a la combinación, hogaño se presenta sumiso y obediente ante el revolucionador horno eléctrico y bajo la misteriosa influencia de los *catalizadores* que, cambiando rápidamente la faz de la Química, imponen la sustitución de sus procedimientos por otros más sencillos, de mayor suavidad y dulzura, pero no menos atrevidos y sorprendentes.

¿Será necesario que os adelante prueba irrefutable, reveladora de la verdad que encierran las anteriores manifestaciones y de la

colosal obra realizada por la Química? Recordemos un hecho que es de todos conocido: uno sólo y es sobrado para el objeto; pero al exponerlo os ruego, que sólo como hecho lo juzguéis, sin pretender descubrir *filias* o *fobias* que no envuelve, ni albergo. La Ciencia es patrimonio común que transporta al infinito las fronteras nacionales.

Alemania importaba de Chile antes de la guerra 750.000 toneladas de nitrato sódico para el consumo de sus campos y fábricas de ácido nítrico, salvo una parte que pasaba a las naciones vecinas. Estalla el conflicto y se ve bloqueada por enemigos poderosos que no se recatan de afirmar reiteradamente: *agotadas las reservas, dentro de unos meses, carecerá de nitratos para el suelo y de ácido nítrico para fabricar pólvoras y explosivos.* ¿Recordáis que esto se dijo? ¡Han transcurrido tres años; los obuses alemanes siguen explotando y come pan aquella gente! ¿De dónde sacan el ácido nítrico que en tan grandes cantidades necesitan? No es secreto para nadie, del aire: y según crónicas de Chile venidas, con sobrado fundamento se teme allí, que la pérdida temporal del más importante de los mercados europeos, resulte definitiva ¡Ah la Química! ¿Quién no admira su presente? ¿Duda alguien del porvenir brillante y luminoso? ¡Desgraciado el pueblo que no fomenta su desarrollo: sucumbirá víctima de su torpeza, pobre y anémico, después de arrastrar vida premiosa y de agobio!

Es nuestro objeto, presentar en grandes rasgos los procedimientos de fijar nitrógeno, tanto biológicos como químicos. Contad con la imperfección del trabajo siendo obra mía y lamentad como yo los motivos que forzosamente obligan a dejarlo incompleto, ya que no ha sido posible alcanzar las investigaciones y ventajas conseguidas en los dos últimos años. Es seguro que en este lapso de tiempo la Ciencia no ha permanecido dormida y sin producir: puede afirmarse por el contrario, que se ha laborado en marcha forzada, atendiendo de preferencia, naciones que ya figuraban en las vanguardias del progreso, la industria del ácido nítrico sintético, mejorando los métodos e

intensificando la producción; pero la horrorosa tragedia, en la que afortunadamente no hemos caído envueltos, exige se guarde secreto cuanto el enemigo pudiera utilizar; altera el equilibrio que regula la vida de los pueblos; interrumpe vías de comunicación; paraliza el comercio; conmueve y disloca las sociedades; amenaza los fundamentos de la civilización, y el cataclismo atávico y demoledor alcanza hasta la más alta manifestación de la cultura: el libro y la revista dejan de publicarse. Fuerza será esperar para saber lo bueno y edificante determinado por lo malo y destructivo, que la anhelada paz restablezca la normalidad y una vez restañadas las heridas, se encauce la potencia del trabajo inspirada en sentimientos de fraternidad y universal progreso.

Fijación biológica del nitrógeno atmosférico

I

La evolución de la materia y los microbios

¡Los microbios! ¡Cuánto recelo y temor inspiran: sin embargo, qué importancia tienen, qué útiles son, y qué maravillosos en su trabajo metódico y ordenado! Nada supérfluo e inútil hay en la Naturaleza, y siendo esto verdad inconcusa, aunque en múltiples ocasiones no alcancemos el porqué de las cosas, no se comprende fueran lanzados a la vida esos microscópicos seres, para pesadilla del hombre y con el exclusivo objeto de producir en nuestros organismos alteraciones funcionales tan graves y trastornos tan fulminantes, que pueden determinar la muerte en el transcurso de algunas horas. De todo hay, es cierto, y bien demostrada está su intervención; pero también es positivo que aumenta de día en día el número de las especies ingresadas en el catálogo de las beneficiosas.

Nació la Bacteriología con el conocimiento y estudio de microbios patógenos. Preocupando al hombre, en primer término, el remedio y alivio de sus males, procuró descubrir las causas determinantes de las enfermedades y demostrada la procedencia microbiana de algunas, las investigaciones se multiplicaron con tan fructífero resultado, que en pocos años la nueva rama de la Ciencia reunió bajo su dominio rico y precioso arsenal de conocimientos referentes a la Biología general de las bacterias

y actuación de muchas especies como agentes patógenos. Sesenta años de labor dirigida en ese sentido, ha determinado la vulgarización de conceptos, nombres de microbios, enfermedades que producen, etc., etc., y hoy nadie ignora las terribles hazañas de los bacilos de Koch, Eberth, Löffler, Pfeiffer y otros. No sucede lo mismo con los microbios beneficiosos: su conocimiento es más reciente; no se estudian de ordinario en los tratados de Bacteriología general y hay que buscar cuanto de ellos se sabe en obras especiales de Bacteriología agrícola; mas como en este sentido se ha hecho escasa labor de vulgarización, no obstante su transcendental importancia, resultan los malos conocidos, temidos y respetados, constituyendo notable minoría, mientras los buenos yacen casi en el olvido esperando momentos de reivindicación que manifieste y ensalce su prodigiosa labor. ¡Triste paralelo: ocurre lo mismo entre los hombres con lamentable frecuencia!

Sin los microbios, la vida sería imposible porque la obra de la muerte es incompleta, decía Pasteur. El pensamiento es de absoluta realidad. Si al morir quedara la materia afectando forma estable y correspondiente al término de una evolución definitiva y limitada, la superficie de nuestro planeta estaría cubierta de cadáveres y detritus de toda clase; los seres conscientes no resistirían el cuadro macabro y desolador que ante sus ojos se ofrecería un día y otro; la inmovilización de tantos elementos materiales disminuiría rápidamente los efectivos; la lucha por la vida adquiriría con extraordinaria rapidez caracteres de inusitada violencia, y poco a poco los factores del exterminio sumando su demoledora acción, convertirían la Tierra en un astro tan muerto como el satélite que la acompaña, y que quizá en el consorcio universal y cósmico sólo actúa por su masa, sosteniendo el maravilloso equilibrio que fija y determina la posición y movimiento de los mundos.

¡Tal es el alcance y significación de esos microscópicos seres! Son los encargados de realizar, entre otras funciones no menos

importantes, la *desagregación y simplificación* de la materia organizada muerta, hasta convertirla de manera gradual y sucesiva en sustancias asimilables por los vegetales, haciendo posible por su intermedio la vida animal. Se determina así un perfecto estado de equilibrio entre la destrucción de la materia orgánica y su síntesis en la superficie de la Tierra, con marcadas analogías de forma entre las *fases progresiva y regresiva*. La organización y la destrucción, no representan procesos desordenados y mal definidos; son por el contrario la resultante de una serie sucesiva de vidas, de seres que se reproducen y multiplican transmitiendo por herencia sus propiedades específicas o fundamentales, y de una división de trabajo precisa y admirable (1).

La desagregación que los microbios llevan a término, es simultánea de manifestaciones contrarias. Mientras una parte de materia se degrada y simplifica, otra gana los escalones de la organización mediante síntesis verificadas en el laboratorio que cada célula microbiana representa. Resultan así indispensables los *infinitamente pequeños* para sostener la vida en la superficie de la Tierra, no sólo por la desagregación que determinan, sino como auxiliares que aseguran la extensión de la vida misma, ya que, directa o indirectamente, ponen a disposición de vegetales y animales, cuanto nitrógeno captaron de la atmósfera para subvenir las necesidades de su propio organismo.

(1) Es raro que la misma especie microbiana pueda transformar una sustancia compleja, hasta reducirla a los derivados más sencillos. En general, la acción se limita a determinar cambios poco profundos, sin que vaya más lejos el trabajo de desagregación, porque nueva especie presentará mejores aptitudes para continuar la obra. Así, por ejemplo: hay microbios que disuelven las membranas celulares de la patata, dejando intactos los gránulos de fécula alojados en el interior, que las *diastasas hidrolizantes* segregadas por otras bacterias, pueden transformar en glucosa. Por acción de diversos *Saccharomyces* la glucosa se desdobra, aunque no íntegramente, en alcohol y anhídrido carbónico; el alcohol es transformado por el *mycoderma aceti* en ácido acético y por fin éste, por oxidación más enérgica, produce agua y anhídrido carbónico, formas minerales representantes de la destrucción completa de todo hidrato de carbono.

La vida animal está supeditada a la vegetal. Incapacitados los animales para elaborar en su economía hidratos de carbono y albuminoides, partiendo de cuerpos sencillos, se ven obligados a tomar esas materias del vegetal que, absorbiendo del suelo compuestos poco complejos y utilizando el carbónico del aire, edifica en sus tejidos azúcares, féculas y albuminoides de la mayor complejidad molecular. Los animales consumen más o menos directamente materias alimenticias acumuladas por los vegetales (1), comenzando ya en su organismo el desdoblamiento que ha de llevar a formas sencillas los productos absorbidos. La molécula albuminoidea se simplifica, hasta presentar la urea como señal de tan singular retrogradación; grasas e hidratos de carbono son transformados en agua y anhídrido carbónico.

La relación tan estrecha e íntima entre ambos reinos de la Naturaleza encuentra facilidades para establecerse, porque la composición del protoplasma celular, es probable no presente variaciones sensibles en todo el mundo organizado, y siendo esto así, a identidad de plasma debe también corresponder idéntico mecanismo de nutrición. Una substancia alimenticia, la fécula, por ejemplo, es sacarificada por las *diastasas bacterianas*, de la misma manera que lo hace el *micelio* de un hongo, el *embrión* de la cebada o la *glándula digestiva* de un animal superior. La célula digiere por intermedio de las *zymasas* que segrega; después asimila, es decir, incorpora a su propia masa las materias preparadas por los *catalizadores* de las reacciones bioquímicas.

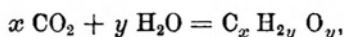
Caracteriza a los animales la facultad de moverse; mas como todo movimiento arguye una fuerza, cierta cantidad de energía que como la materia no se crea, y en los organismos animales no hay dispositivo que permita aprovechar ni almacenar la procedente del sol—manantial en último término de todas las formas de energía que se manifiestan y trasmutan a nuestro alrededor—

(1) Como factores intermedios figuran los herbívoros.

la buscan indirectamente utilizando la acumulada bajo forma química en los alimentos, antes luz o energía luminosa que hizo posibles las síntesis de almidones, azúcares y celulosa, en concomitancia con la materia verde de los vegetales (1).

Resulta en consecuencia que, en el gran laboratorio de la Naturaleza, los animales son extraños a la elaboración de materia orgánica y viven a expensas de sustancias que los organismos vegetales producen; y como el ingreso de nitrógeno en la economía de éstos hace precisa e inevitable la intervención de los infinitamente pequeños—bien para transformar en productos de nuevo asimilables materias que, ya ingresadas en el ciclo de evolución orgánica, se precipitan por las pendientes de su catabolismo, o para fijar nuevas cantidades del fertilizante elemento

(1) Estos cuerpos de fórmula general $C_x H_{2y} O_y$, se originan en la reacción



que se verifica con absorción de energía en las proporciones siguientes: Equivalente a 677,2 grandes calorías, para llegar a la molécula de glucosa $C_6 H_{12} O_6 = 180,096$ gr.; 1355 cal.^s en la de sacarosa o azúcar ordinario, $C_{12} H_{22} O_{11} = 342,176$ gr.; $m \times 684,9$ cal.^s en el almidón, $m C_6 H_{10} O_5 = m \times 162,08$ gr., y $n \times 680,4$ en la celulosa, $n C_6 H_{10} O_5 = n \times 162,08$ gramos, calor que devuelven exactamente al transformarse de nuevo en agua y anhídrido carbónico, durante su paso por los organismos animales.

Cantidades notables de energía se encuentran también acumuladas en alimentos de otra naturaleza. Así; el gluten, legumina y fibrina de plantas, producen al quemarse respectivamente, 5,99 — 5,79 y 5,83 a 5,94 calorías por gramo de substancia.

El calor de combustión de las materias grasas oscila entre 9 y 9,5 cal.^s por gramo, elevado coeficiente que es aprovechado, casi íntegro, por los animales superiores.

Hidratos de carbono, grasas y albuminoides se encuentran en todos los seres de ambos reinos vivientes. Algunas de estas materias son compuestos lábiles y otras se desdoblan con facilidad. Interponiéndose el oxígeno entre los fragmentos, surgen nuevas manifestaciones, y la molécula alimenticia compleja y voluminosa al principio, se disloca y simplifica poniendo a disposición del organismo asiento de tan continuadas mutaciones, toda la energía que fué absorbida en su formación, energía que, como es sabido, conserva la temperatura propia del animal y es fuente de trabajo muscular.

que permitan la extensión de la vida y compensen la parte que se retrograda reintegrándose a la atmósfera—probado está con suficiencia que, *la vida de los macrobios está supeditada a los microbios*, y por tanto, en el balance de nuestro paso por el mundo, gratitud inmensa merecen, aunque debamos perdonarles ciertos agravios. ¡No hay rosas sin espinas!

II

Los microbios del suelo

Se encuentran microbios en el aire, aguas y tierras, en proporción variable según circunstancias; y no olvidando se trata de seres vivos cuya existencia se halla en relación íntima con la materia orgánica y organizada, que suministra los elementos constitutivos de su cuerpo y energías en ellas almacenadas (1), puede *a priori* deducirse que, el suelo es el medio donde mayor número de micro-organismos pululan. La superficie y capas superiores adyacentes, donde se acumulan materiales orgánicos de procedencia animal y vegetal, sirven de asiento al mayor trabajo que la actividad microbiana presenta; en capas profundas, a medida que se simplifican y solubilizan los detritus, la vida se hace más difícil, desapareciendo por completo gérmenes y seres vivos a profundidad de algunos metros.

El número de gérmenes está en razón directa con la cantidad de materia orgánica y grado de humedad, influyendo además muy notoriamente, la composición química—carácter ácido, básico o neutro de los suelos—; estado de agregación; época geológica a que el terreno pertenece; clima; altura sobre el nivel del

(1) Son, efectivamente, seres monocelulares desprovistos de clorofila e incapaces, en general, para nutrirse con el anhídrido carbónico del aire, pasando a potencial la energía luminosa que emanada del *astro rey* se difunde y diversifica por todos los ámbitos de la Tierra.

mar, etc., etc. (1). La tierra arable es, pues, algo viviente y no la substancia inerte que muchos se imaginan: es, no sólo el sostén del vegetal y portador de materias nutricias, sino el laboratorio o fábrica donde se cumplen numerosas y trascendentales metamorfosis. Así lo demuestra la rica flora bacteriana del suelo,

(1) Ejemplos de variación en armonía con los conceptos expresados, se manifiestan en los datos siguientes:

Miquel encontró en el cieno de París, de 225 a 2000 millones de gérmenes por centímetro cúbico. En el mismo volumen Holde halló, 5.750.000 en tierra laborable y 9.400.000 en la procedente de prados.

Maggiora suministra las siguientes cifras, que refiere al gramo de tierra captada en la superficie:

Terreno cultivado.....	60000	a	11.000000	gérmenes
» de aluvi6n.....	45000	a	128000	»
» turboso.....	17200	a	160000	»
Roca volcánica.....	27500	a	29000	»
» antigua.....	2800	a	10600	»
Terreno de la ciudad de Turin..	1.390000	a	78.000000	»

Fränkel en investigaciones de profundidad efectuadas en las inmediaciones de Postdam y que comprenden dos series, consigna:

	Mayo	Noviembre	
En capa superficial.	150000	75000	gérmenes
A profundidad de 0,50 metros	200000	75000	»
» 1,00 »	2000	7000	»
» 1,50 »	15000	200	»
» 2,00 »	2000	100	»
» 2,50 »	500	0	»
» 3,00 »	3000	1500	»
» 3,50 »	0	50	»
» 4,00 »	0	0	»
» 4,50 »	100	0	»

Stoklasa en 1911, en estudios de profundidad variable y trabajando con la misma tierra sometida a diverso tratamiento, encontró:

Profundidad	Micro-organismo por gramo de tierra		
	a	b	c
10 a 20 cm.	230000	1.800000	4.700000
20 a 30 »	256000	2.350000	3.529000
30 a 50 »	208000	1.600000	2.100000
50 a 80 »	14000	540000	184000
80 a 100 »	5000	72000	95000

porque, dadas las condiciones de vida de los infinitamente pequeños, su número guarda relación estrecha con la intensidad del trabajo a realizar. Esa flora representa el principal agente de asimilación nitrogenada de las plantas, dependiendo las cosechas en gran parte de la cantidad y calidad de microbios. Tierras que no contienen o los presentan en escaso número, conducen a malos rendimientos aun en presencia de abonos: así, la utilidad del estiércol, está en relación con los materiales que representa y con la composición microbiana. Un gramo contiene hasta 70

- a—tierra de pradera no trabajada ni abonada.
- b—la misma tierra trabajada durante dos años empleando abonos químicos y sembrada de trébol el año del experimento.
- c—la misma tierra trabajada todos los años, abonada con estiércol y productos químicos, y plantada de remolacha el año del experimento.

Finalmente, de Gregorio Rocasolano aporta las siguientes cifras, como resultado de análisis practicados en los primeros días de Marzo de 1912, en muestras de tierra recogidas en las inmediaciones de Zaragoza:

Tierra de huerta

A profundidad de	3 cm.	6.292000	gérmenes en gramo.
»	8 »	3.717000	»
»	15 »	2.246000	»
»	25 »	1.972000	»
»	40 »	1.292000	»

Tierra no laborable

A profundidad de	3 cm.	17.820000	gérmenes en gramo.
»	8 »	2.450000	»
»	15 »	0	»

Los datos apuntados nada absoluto indican: alteraciones profundas pueden sufrir por causa de otros seres que viven en la tierra—insectos, larvas, lombrices, etc.—y por las raíces de las plantas que al penetrar profundamente en el suelo, favorecen la diseminación de bacterias y el desarrollo de ciertas especies, cambiando con sus secreciones la naturaleza del medio. Variaciones notables en el número de micro-organismos, pueden presentarse hasta en un mismo terreno, según la capa que se considere, encontrándose en algunos casos estratos estériles comprendidos entre otros que contienen microbios.

millones de gérmenes, y según ha demostrado Stoklasa comparando cosechas obtenidas con estiércoles naturales y esterilizados, corresponde a los micro-organismos importante papel en las transformaciones del suelo (1).

Estas acciones y en particular las verificadas en la superficie de la tierra o próximo a ella, parece debían tener por causa exclusiva micro-organismos *aerobios* y sin embargo, se encuentran especies *anaerobias* en tal abundancia, que casi superan a las primeras (2). Todas las formas de vida resultan posibles, en consecuencia, para los microbios en el seno de la tierra; especies de todas clases pululan en amigable consorcio, cumpliendo funciones bien definidas que les están encomendadas. Sábese además, que muchos micro-organismos presentan las dos formas de vida (3), según condiciones de medio, y si bien es verdad que al variar aquélla, cambian en general las aptitudes, no por eso dejan de transformar materia sin alteración de los resultados finales, considerados en conjunto.

La flora bacteriana del suelo es variadísima: se encuentran en ella hongos y levaduras; bacterias, cocos y bacilos; microbios

(1) Como ejemplo notable de actividad microbiana puede citarse, los resultados obtenidos por Müntz y Coudon. Porciones iguales de tierra ligeramente calcárea mezclada con sangre seca y esterilizada a 120°, fueron sembradas con microbios del suelo: pasados 70 días, la cantidad de amoníaco contenida en la porción testigo era igual a la inicial, en tanto que había aumentado en 27,2 -- 19,8 y 17,1 mgr. por 100 de tierra, en las sembradas con *Mucor racemosus*, *Fusarium Müntzii* y *bastonetes* α respectivamente.

(2) Investigaciones de Winogradsky acerca del *Clostridium pasteurianum*, explican el hecho. Se trata de especie anaerobia que se desarrolla en medio líquido atravesado por burbujas de aire, si se llena la condición de estar asociado a dos bacilos que se designaron con las letras α y β . Cada partícula de tierra, es asiento de asociaciones análogas a las que el *Clostridium* contrae; especies anaerobias se desarrollan en el interior, mientras las aerobias residen en la superficie y regiones inmediatas cumpliendo la misión de absorber el oxígeno del aire, librando de su presencia a las del centro.

(3) De Gregorio Rocasolano ha cultivado *Clostridium pasteurianum* en condiciones de vida aerobia, no obstante ser considerado como anaerobio estricto.

aerobios y anaerobios, patógenos unos y saprofitos otros, y como no podía menos de suceder, especies beneficiosas y dañinas para las plantas. Los microbios dominantes varían, en especial, con la composición de los terrenos: los ácidos y ricos en humus, contienen hongos y levaduras, encontrándose *Aspergillus terricola* y *Cephalothecium roseum* en abundancia; en los de otra naturaleza, dominan bacterias como los *B. putrificus*, *mycoïdes* y *fluorescens*, *Proteus punctatus*, *Actinomyces odorifer*, bacilos del género *subtilis*, *Bact. erytrogenes*, fermentos de la urea, nitrificadores, fijadores de nitrógeno, desnitrificantes, etc., etc., y por último, los *Streptothrix*, *Oospora* y hongos en crecido número. En general se trata de bacterias que no liquidan la gelatina.

III

Trabajo químico de los microbios del suelo.—Ejemplo del mecanismo

Atendiendo a la transformación de materiales nitrogenados, pueden dividirse los microbios del suelo en cuatro grupos: 1.° *los que descomponen las referidas materias suministrando amoniaco*; 2.° *bacterias oxidantes encargadas de transformar amoniaco en nitritos, cuerpos intermedios que otras especies convertirán en nitratos*; 3.° *fijadores de nitrógeno atmosférico*, y 4.° *bacterias cuyas diastasas reductoras determinan la destrucción de nitratos*.

Evidentemente los micro-organismos de los tres primeros grupos, contribuyen a sostener y aumentar la fertilidad del suelo. Actuando los del primero y segundo sobre el nitrógeno combinado que por diferentes conductos llega a las tierras, le transforman por reacciones sucesivas y complementarias en nitrato, forma de asimilación no exclusiva, pero sí preferida por las

plantas (1). Dedicando sección especial a las bacterias comprendidas en el grupo tercero, objeto principalísimo de esta parte del trabajo, pudiera parecer redundancia el encomio de su utilidad; pero bueno será exponer algunas ideas que fijen desde luego el verdadero concepto de estos micro-organismos.

Ya Boussingault demostró, que el nitrógeno sustraído por las cosechas, es, en muchas ocasiones, superior al contenido en el terreno en la época de siembra; resultado que contradice cuanto en deducción lógica pudiera afirmarse, aun suponiendo se abone periódicamente después de cubrir las semillas. Las aguas actuando como agentes de loción por una parte y las fermentaciones—putrefacción y desnitrificación—por otra, determinan pérdidas elevadas e inevitables, que deben disminuir el nitrógeno terrestre o combinado; sin embargo, el análisis químico demuestra con sus cifras sin réplica, aumento incesante y regular de las reservas. En prados, terrenos vírgenes y montañas que jamás han recibido abonos, se alimentan millones de animales que proporcionan sin cesar ricos alimentos nitrogenados. Y lo que es más notable: en muchos de esos suelos, es frecuente encontrar cantidades de nitrógeno superiores a las contenidas en terrenos cultivados de buena calidad. ¿Cuál es su procedencia? ¿En virtud de qué mecanismo pasa de la atmósfera a la tierra, se preguntó?

(1) Schlöesing cultivando plantas de tabaco en atmósfera amoniacal muy débil, y Müntz, cáñamo, cebada, maíz, habas y habichuelas, agregando sulfato amónico a la tierra después de esterilizada, previo lavado para eliminar nitratos, demostraron asimilación bastante activa de nitrógeno. Experimentos más precisos sobre la materia efectuados por Mazé, con maíz, empleando también sulfato amónico al 0,5 por 1000—al 1 por 1000 ejerce ya acción nociva sobre las plantas—evidenciaron de igual modo la absorción.

Investigaciones posteriores llevan a opinar con Lutz, que los amoniacos compuestos y en general, las substancias orgánicas nitrogenadas complejas y de naturaleza indeterminada, así como el carbono orgánico, pueden contribuir a la nutrición vegetal. Exceptúanse materias tóxicas para las plantas y aquellas que por insolubilidad o estado coloide especial, no pueden penetrar en las raíces.

Químicos y agrónomos le atribuyeron orígenes distintos. Conocida la existencia de pequeñas cantidades de amoniaco en el aire, Schløesing estudió su circulación en la atmósfera y en las aguas, sentando como resultado de sus investigaciones, *que las algas absorben los nitratos arrastrados al mar y los detritus de éstas acumulados en el fondo, se descomponen con producción de amoniaco que, por la superficie de los océanos, se reintegra a la atmósfera. Como por otra parte, oxígeno y nitrógeno del aire se combinan bajo la influencia de chispas eléctricas, hay en último término formación de nitrito y nitrato amónicos, que las aguas de lluvia aportan de nuevo a la tierra.*

Según esto, pudiera pensarse en una compensación del nitrógeno que pasa al estado de libertad, por el combinado en los periodos de tormenta; pero admitido ese equilibrio, resultaría en definitiva que, *la cantidad de nitrógeno combinado o disponible debe ser constante en el transcurso de los siglos.* Partiendo de esta idea, llegó Müntz a suponer alimentada la vida, por una reserva de nitrógeno activo que debió constituirse bajo forma de amoniaco y nitratos, en la época del enfriamiento de la Tierra.

Esta manera de ver las cosas, no resistió el examen atento y profundo de hechos que los agrónomos fueron acumulando: el amoniaco y compuestos nítricos procedentes de la atmósfera, evaluados en 8 ó 10 kg. de nitrógeno nítrico por hectárea y año, es a todas luces insuficiente para compensar las pérdidas que cosechas, aguas de drenaje, etc., determinan, y se impuso la admisión de otras fuentes de ingreso con potencia suficiente para mantener y rebasar el equilibrio, ya que la porción de nitrógeno combinado aumenta. Tal es la labor encomendada a las bacterias del tercer grupo, como demostraron brillantemente Berthelot, Winogradsky, Hellriegel y Wilfarth, Beijerinck y otros investigadores, que vieron coronados sus esfuerzos por el más lisonjero éxito, explicando hechos hasta su época ignorados y sentando conclusiones cuya trascendencia, aún no es posible prever en el momento actual.

No menos indispensable conceptuamos dedicar algunas líneas a las bacterias incluídas en el grupo cuarto. A primera vista su papel parece desfavorable porque tienden a disminuir las reservas de nitrógeno apto; pero en realidad, no está bien determinado el detalle y alcance de su función; contribuyen, desde luego, a sostener ese perpetuo cambio, verdadera *respiración nitrogenada* de la tierra y del mundo viviente.

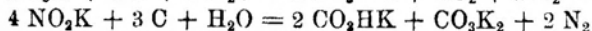
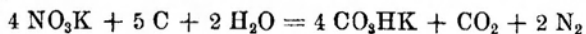
Schöenbein, en 1868, señaló la existencia de micro-organismos capaces de transformar nitratos en nitritos, llegando hasta el amoniaco en su obra destructora. Catorce años después, Gayon y Dupetit aislaron microbios que partiendo de nitratos, suministraban nitrógeno libre y oxidado; no tardando Dehérain y Maquenne en publicar análisis de los gases formados (1). Abordada más tarde la cuestión por Kossowicz, Stoklasa, Lebedew, Grimbert, etc., desde los aspectos bacteriológico y químico, demostraron el reparto y extensión de las bacterias desnitrificantes, hallando maneras de proceder muy distintas, dentro del común trabajo de reducir nitratos.

Los desnitrificantes que pueden llamarse *verdaderos o definitivos* dejan nitrógeno libre en virtud de fenómeno considerado por Gayon como resultado de una oxidación interna de materia hidrocarbonada adjunta, que se quema proporcionando la energía necesaria para continuar la descomposición (2). Algunos desnitrificadores pueden utilizar la combustión del azufre como manantial de energía (3).

Los desnitrificantes *indirectos*, operan una reducción más

(1) Sembrando con tierra una disolución de azúcar nitratada, obtuvieron: anhídrido carbónico—80,5; óxido nitroso—8,2 y nitrógeno—11,3.

(2) El expresado bacteriólogo cree posibles las siguientes o parecidas reacciones:



(3) El *Thiobacillus denitrificans* transforma en sulfato al citado elemento, según la reacción:



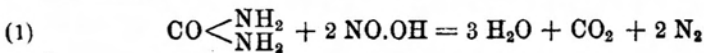
limitada; pasa el nitrato a nitrito, cuyo ácido, actuando sobre compuestos de función amida existentes en el suelo—urea por ejemplo—, produce nitrógeno libre de ambas procedencias (1).

Bacterias hay, que no dirigen su acción sobre los nitratos, limitándose a reducir óxidos de nitrógeno originados por otras reacciones: son pues, de acción *parcial* y *progresiva*.

Por último, hay desnitrificantes, y entre ellos pueden citarse los *B. subtilis*, *B. mesentericus*, *B. proteus vulgaris*, etc., que transforman nitrógeno nítrico en amoniacal; encontrándose tan extendida la función reductora, que otros agentes como *saccharomyces* y algunos hongos, pueden presentarla.

Dada la naturaleza química de estas reacciones, parece habían de encontrarse las bacterias anaerobias en mejores condiciones de trabajo; sin embargo, es posible que las desnitrificantes sean aerobias de acción especial en condiciones de vida anaerobia, a la manera como las levaduras transforman azúcar en alcohol y anhídrido carbónico. La influencia de los medios con su variada composición y la presencia de materias hidrocarbonadas sensibles a las acciones oxidantes, es bien notoria; pero como antes se ha dicho, no aparece en realidad bien definida la significación de los microbios desnitrificantes. Es lo positivo que, de ordinario, se encuentran en condiciones muy desfavorables para producir trabajo intenso, y hasta puede admitirse—dadas las simbiosis posibles en el suelo—que su acción sea muy distinta de la observada en los medios artificiales de cultivo. Quizás actúen como reguladores de la nitrificación, reduciéndola a sus justas proporciones, para evitar inconvenientes que un exceso de nitratos determinaría; o, en caso necesario, se constituyan en agentes fijadores de nitrógeno, según parece ha podido demostrarse en algunos casos.

Abundante la flora microbiana del suelo y variadas sus funciones, se comprende sin esfuerzo cuán difícil resulta formar



concepto de la fertilidad de un terreno destinado al cultivo. Conducido el análisis bacteriológico en sentido de numerar gérmenes, ofrece sólo interés muy relativo. Descartada la imperfección de los métodos técnicos, que impide cultivar todos los micro-organismos contenidos en una porción dada de tierra (1), el número de los que aparecen en caldos gelosados o gelatinizados, no está en relación con la fertilidad y aporta escasa ilustración desde el punto de vista agrícola. Procedimientos aplicables en todos casos, y medios que permitan el desarrollo exclusivo de especies determinadas, no se conocen; pero aun suponiendo alcanzado el aislamiento, no se tendría concepto exacto de la actividad microbiana, porque las transformaciones verificadas en la tierra, son casi siempre resultantes de un trabajo de simbiosis que proporciona a cada bacteria medio apropiado, difícil de reproducir en el laboratorio. En las cosas todas de la Biología, sabida es la diferencia tan fundamental que existe entre reacciones verificadas *in vitro* e *in vivo*. Los trabajos de laboratorio, sólo son jalones puestos en el camino que ha de conducir a la resolución de problemas planteados en la práctica agrícola.

No obstante, y a pesar de tantas dificultades, la Bacteriología se va enriqueciendo con el conocimiento de nuevas especies, tan bien estudiadas, que aun con datos incompletos es posible formarse idea clara del trabajo químico cumplido y de las modificaciones diversas que el suelo experimenta por vía microbiana. Ordenar y regularizar ese trabajo poniéndolo directamente en manos del agricultor, es empresa que hoy no puede calificarse de quimera. Se debe tanta conquista, a la asidua e intensa labor realizada por Winogradsky, Beijerinck, Gayon, Boullanger y Massol, Omeliansky, Remy y Löhnis, Kossowicz, de Gregorio Rocasolano y otros muchos sabios que, buscando medios para favorecer el desarrollo de unas especies con detrimento de otras,

(1) Muchas bacterias no se desarrollan en los medios artificiales de cultivo.

han logrado aislar cierto número de bacterias con propiedades características, sorprendiendo la marcha de su trabajo y el origen de las energías que consumen. Nada más apropiado para demostrar estos asertos, que el caso de las bacterias nitrificantes.

De los estudios realizados se deduce que, en medios artificiales de cultivo (1), hay dos estados perfectamente definidos: 1.º *los fermentos nitrosos transforman amoniaco en ácido nitroso*; 2.º *el ácido nitroso pasa a nítrico*. Pudo explicarse la separación

(1) Como resultado de los procedimientos puestos en juego por Winogradsky y Omeliansky, con las mejoras introducidas por Boullanger y Massol, recomienda Löhnis para estudiar extractos de estiércoles o tierras fértiles—obtenidos según técnica apropiada—las siguientes disoluciones, que exigen concurso de aire privado de gérmenes, como es natural. La nitrificación se activa sosteniendo los cultivos a temperatura de 25-30° C.

I	II	III
Agua destilada . . . 100 grs.	Agua destilada..... 100 grs.	La misma composición que I, agregando carbonato cálcico en vez de magnésico, después de esterilizar.
Sulfato amónico.... 0,10 »	Nitrito de sodio.... 0,10 »	
Fosfato bipotásico. 0,10 »	Fosfato bipotásico. 0,05 »	
Sulfato magnésico. 0,05 »	Sulfato magnésico. 0,03 »	
Cloruro sódico..... 0,20 »	Cloruro sódico..... 0,05 »	
Sulfato ferroso.... 0,04 »	Carbonato sódico... 0,03 »	
Agregando después de esterilizar exceso de carbonato básico de magnesio, esterilizado también.	Esterilizar.	

La disolución I favorece especialmente a fermentos productores de nitritos; a productores de nitratos la II y a ambas clases la III, presentando por consiguiente mayores analogías con el medio natural.

Hecha la siembra, cada dos o tres días, una vez transcurridos los 10 ó 12 primeros, se observa la marcha de la fermentación separando porciones líquidas con una asita de platino esterilizada. Como reactivos se emplea: el de Nessler para demostrar la desaparición del amoniaco; difenilamina sulfúrica en la investigación de nitratos y para patentizar la formación o desaparición de nitritos, naftilamina— α al ácido sulfanílico. Se prepara este reactivo, disolviendo, por una parte 0,5 gr. de ácido sulfanílico en 150 cc. de ácido acético al 33 por 100; y por otra, 0,1 gr. de α -naftilamina en 20 cc. de agua caliente, agregando después 150 cc. de ácido acético de igual concentración. La mezcla de ambas soluciones se guarda en frasco bien cerrado. Con 0,0002 mgr. de nitrito, produce aún, coloración roja bien perceptible.

de ambas fases, por la acción paralizante del amoniaco sobre el fermento nítrico, que en consecuencia no actúa hasta la desaparición de aquél. Mas es el caso, que en el suelo y aguas residuarias, los fenómenos no son sucesivos, sino yuxtapuestos: se forman débiles cantidades de nitrito y grandes de nitrato aun en presencia de elevada proporción de amoniaco, de escasa influencia en esas condiciones, según ya demostró Schløesing. ¿Cómo explicar los opuestos resultados del laboratorio y el suelo? ¿Podría pensarse que en éste el trabajo se debe a una vida simbiótica? ¿Se encontró medio de confirmar tal hipótesis?

Boullanger y Massol demostraron con brillantez y elegancia el estado de simbiosis que microbios nitrosos y nítricos contraen, en condiciones favorables, estableciéndose en ese momento enérgica y completa nitrificación, con indicios solamente de nitritos como fase intermedia. Además, quedó explicada la influencia del amoniaco en la marcha de la fermentación nítrica.

El sulfato y otras sales amónicas, sólo paralizan la actividad del fermento nítrico, en presencia de substancias capaces de determinar desprendimiento de amoniaco. La acción de éste es sensible, en especial, sobre la multiplicación de la bacteria, que no se verifica, si la cantidad de amoniaco alcanza 0,2 grs. por litro; pero las propiedades oxidantes del microbio adulto se modifican poco o nada por su presencia, y conseguido tal estado, la nitrificación se efectúa aun en medio fuertemente amoniacal. Por eso, en los ensayos de laboratorio la nitrobacteria retrasa su acción y aparece distinta la fase nitrosa; agotadas o reducidas por ésta las existencias de amoniaco, no hay obstáculos que se opongan a la reproducción de aquélla y la fase nítrica se acentúa con rapidez. En el suelo las condiciones son distintas: abundan materiales donde en todo momento se asientan fermentos nítricos adultos, la simbiosis es siempre posible y el trabajo simultáneo adquiere realidad inmediata.

Las bacterias nitrosas y nítricas no necesitan carbono orgánico para vivir y trabajan muy bien en medios esencialmente

minerales; mas como ese elemento es indispensable para la constitución material del microbio, fuerza es admitir lo toman del aire o del contenido en los carbonatos de magnesio, sodio o calcio presentes en los líquidos de cultivo. La primera hipótesis, sustentada por Winogradsky, es más admisible y en su apoyo vienen experimentos de Goldewsky demostrando que, si a los matraces se hace llegar aire—siempre necesario—privado de anhídrido carbónico, el cultivo resulta imposible. En todo caso y cualquiera que sea el origen del carbono, cuestión secundaria hasta cierto punto ¿de dónde procede la energía necesaria para separarle? Se admite en Química como axiomático, que la descomposición de un cuerpo exige poner en juego tanta energía como se liberó en su formación; y si al constituirse el anhídrido carbónico aparecen 94 cal.^s por molécula—44 grs.—, cantidad a todas luces crecida ¿de qué recursos disponen las bacterias nitrificantes para agenciarse ese calor, haciendo posible la asimilación del carbono?

La respuesta puede darse con todos los honores de verdad demostrada: es la oxidación del amoniaco quien la suministra. La transformación de dos moléculas de este cuerpo—34 grs.—en anhídrido nítrico, se realiza desprendiéndose 194 cal.^s (1), energía sobrada para descomponer otras dos moléculas de anhídrido carbónico—88 grs.—que representan 24 grs. de carbono asimilado. Y si como Winogradsky ha deducido, por cada gramo de carbono incorporado a la masa de microbio en esta clase de fermentaciones, se producen aproximadamente 36 grs. de nitrógeno oxidado, sobra calor, y en consecuencia, el sistema representado por las bacterias nitrificantes y los medios de cultivo artificiales o naturales, es exotérmico. No carece, pues, de fundamento, la idea de cuantos creen que las acciones microbianas influyen en la temperatura de las capas terrestres superiores y aun en los

(1) 1.^a 2 NH₃ + 3 O₂ = 3 H₂O + N₂O₃ + 157 cal.^s
 2.^a N₂O₃ + O₂ = N₂O₅ + 37 cal.^s

climas, ya que otras transformaciones, como la nitrificación, son manantiales de calor no despreciables dada la extensión y proporciones que alcanzan.

Vemos en definitiva, como las dos reacciones principales de las bacterias nitrificantes, *asimilación de carbono y oxidación del nitrógeno*, están en relación íntima, son dependientes una de otra. La formación de nitratos, materias indispensables a la nutrición de vegetales superiores, es consecuencia de la vida de ciertos microbios, clasificados como todos ellos, en los últimos peldaños, en las más bajas categorías del reino vegetal.

IV

Fijación de nitrógeno atmosférico.—Sus formas

Bacterias aerobias y anaerobias (1) contribuyen a este trabajo, complementado muchas veces por hongos, levaduras, musgos y algas, eficientes en determinadas condiciones para ejercer la función fijadora con no menor intensidad (2). La fijación se verifica de preferencia en las capas superficiales del suelo, pero el trabajo aparece propagado hasta profundidades de 60 y 70 centímetros.

Se desarrollan estas bacterias en medios casi exentos de nitrógeno combinado, exigiendo en cambio presencia de ácido

(1) *Bacillus radicolica* encontrado en las nudosidades radiculares de las leguminosas; *Clostridium Pasteurianum*, *giganteum*, *americanum*; *Granulobacter sphaericum*, *reptans*, *polimyxa*, *butilicus*, *pectinovorum*; *Azotobacter chroococcum*, *agilis*, *danicus*, *malabarensis*, *Beijerinckii*, etcétera, a los que pueden agregarse diversas especies pertenecientes al grupo *Mesentericus* y según Löhnis y Pillai, las bacterias *acidi lactici*, *lactis viscosum*, *lactis innocuus* y *B. asterosporus*, que gozan de la misma propiedad.

(2) La *Monilia candida* el *Oidium lactis* y el *Dematium pululans*, pueden ser cultivados, según Kossowicz, en medios minerales exentos de nitrógeno. El *Saccharomyces Pasteurianus* III y el *Mycoderma vini*, se encuentran casi en el mismo caso, como indican Lipmann y Zikes.

fosfórico, cal, magnesia, potasa y muy especialmente, materias ricas en carbono asimilable, puesto que, la cantidad de nitrógeno absorbido, depende de la substancia carbonada consumida. La relación entre ambos efectos varía con las especies (1), y dentro del mismo microbio, con las condiciones del medio, cantidad de materia orgánica presente, acceso de oxígeno, antigüedad del cultivo, etc., etc. (2).

El estudio metódico de las formas de fijación por vía microbiana, exige se formen grupos según analogías de mecanismo, admitiendo los bacteriólogos tres maneras distintas de efectuar la asimilación, que enunciarnos en orden decreciente de importancia: 1.º *por los microbios contenidos en las nudosidades de las leguminosas en simbiosis con la planta*; 2.º *por microbios del suelo que realizan trabajo a expensas de la energía producida en la destrucción de hidratos de carbono*, y 3.º *por asociaciones de micro-organismos y algas*.

Primera forma.—Es sin duda la que reviste mayor interés, por la intensidad y perfecto aprovechamiento del nitrógeno fijado. De manera empírica, puesto que no se conocía el mecanismo, se utilizaron sus beneficios, fomentando determinados cultivos, para establecer conveniente rotación de cosechas o modificar la calidad y reparto de los abonos. Las observaciones datan de larga fecha: *las leguminosas, se decía, pueden proporcionar aceptables rendimientos en terrenos relativamente pobres, al mismo tiempo que mejoran el suelo con su paso; los cereales, por el contrario, agotan las tierras de labor no obstante proporcionar*

(1) El *Clostridium Pasteurianum* consume, según determinaciones de Winogradsky, un gramo de glucosa para una fijación de nitrógeno que oscila entre 1,3 y 1,8 mg. Vogel y Gerlach en el caso de los *Azotobacter* encuentran de 8,5 a 9 mg. de nitrógeno fijado, por gramo del mismo azúcar, mientras Stoklasa no halla más de 6 mg. para el *Azotobacter chroococcum*.

(2) Los cultivos jóvenes son más favorables para la fijación que los viejos.

semillas con menor cantidad de nitrógeno. La causa de esta diferencia tardó en ser conocida.

G. Ville hacia la mitad del pasado siglo, como resultado de sus experimentos cultivando guisantes en condiciones especiales, fué el primero en emitir la idea que *ciertas plantas y en particular las leguminosas, pueden asimilar nitrógeno atmosférico.* La hipótesis quedó abandonada en vista del resultado negativo de los trabajos de Boussingault y Pugh, dirigidos por Lawes y Gilbert; pero Hellriegel y Wilfarh en 1888, confirmaron de manera brillante y decisiva las ideas de G. Ville, que privado de los recursos bacteriológicos, desconocidos en su tiempo, no pudo explicar las irregularidades observadas en el desarrollo de plantas sostenidas, al parecer, en idénticas condiciones.

Hellriegel y Wilfarh observando raíces de pies raquíuticos y normales, encontraron las primeras desprovistas de tubérculos, que las segundas contenían sin excepción. Es cierto que la existencia de esos tubérculos o nudosidades era conocida de los botánicos; pero lejos de considerar a tales abultamientos asiento de importantes fenómenos, creyeron con Malpichi, se trataba de manifestaciones patológicas, o siguiendo al fisiólogo de Wries, vieron en los bastonetes ramificados de su interior, corpúsculos inertes constituídos por materiales de reserva, utilizables por la planta en oportuna ocasión.

Desde los primeros experimentos atribuyeron Hellriegel y Wilfarh las nudosidades a un ser viviente, y no tardaron en afirmar como resultado de su labor tan asidua como bien orientada que, *en los tubérculos se asienta una simbiosis entre microbios del suelo y la planta,* de donde resulta la capacidad de las leguminosas para asimilar nitrógeno atmosférico. Schlœsing—hijos—y Laurent, Stoklasa, Beijerinck, Prazmowski y otros investigadores, confirmaron los resultados de los sabios alemanes, y demostrada la naturaleza microbiana de los corpúsculos bacteriformes hallados en las nudosidades—*Bacillus radicicola, Bacterium radicicola* y *Pseudomonas radicicola*, como se les ha

llamado—los cultivaron en medio artificial, logrando su aislamiento; practicaron inoculaciones en plantas de ensayo desarrolladas en tierras asépticas; estudiaron la influencia de los agentes físicos y químicos, y pusieron al descubierto, en una palabra, gran parte del mecanismo fijador de nitrógeno, en sus aspectos anatómico y fisiológico.

Son las nudosidades excrescencias carnosas de las raíces. La forma, dimensiones y posición, varía con la leguminosa, suelo y virulencia del microbio. Constan de tejido parenquimatoso denso en la superficie y flácido en el interior, donde se encuentran grandes células completamente llenas de microbios movibles, que se colorean en pardo-rojizo por el iodo. Haces vasculares procedentes de la raíz, surcan las regiones periféricas y se ramifican por los tubérculos, llenos en los primeros tiempos de materia albuminoidea.

Se forman nudosidades, penetrando en la raíz bacterias que logran fijarse por medio de una secreción específica, variable con las razas. Por su parte la planta elabora productos que contribuyen de igual modo al fenómeno de influencia mútua, no faltando entre ellos hidratos de carbono, que pueden despertar *acciones quimiotácticas* en las bacterias. Una vez fijadas—de preferencia en los pelos radiculares—ganan con facilidad las capas sub-corticales y forman colonias que no tardan en cubrirse de un velo o materia viscosa, producto de desasimilación rico en nitrógeno, que arrastrado por la savia es útil a la planta y mezclado con pelos absorbentes origina la soldadora de colonias y células vegetales, produciendo excrescencias. Llegado este momento, adquieren las bacterias formas ramificadas llamadas *bacteroides*; aparecen filamentos mucosos; las células corticales se segmentan, y quedan constituídas las nudosidades. Representan éstas la parte de planta más rica en nitrógeno (1) que, transfor-

(1) Franck señala hasta el 7,5 por 100, equivalente al 46,88 por 100 de materias albuminoideas.

mado primero en substancia protoplásmica, pasa después a material de reserva. La asimilación de nitrógeno, intensa al formarse los filamentos mucosos, es decir, al aparecer los bacteroides, continúa durante todo el crecimiento del vegetal y al término de su evolución, salen las bacterias de los tubérculos y pasan a la tierra, donde permanecen esperando condiciones favorables para comenzar de nuevo su trabajo.

Es hecho comprobado que, las nudosidades no se forman si la planta dispone de materiales nitrogenados o el microbio no está adaptado a la leguminosa; por esto, los terrenos ricos en carbono y pobres de nitrógeno, se prestan más a su desarrollo. La presencia de nitratos es desfavorable en alto grado (1); en cambio el humus exalta la actividad. Los materiales fosfatados y potásicos, así como pequeñas cantidades de ciertos cuerpos de acción catalítica, favorecen también la producción y desarrollo de nudosidades. Por último, Nobbe y Hiltner señalan la influencia de un nuevo y decisivo factor, que designan con el nombre de *virulencia del microbio* o aptitud más o menos grande para la penetración. Cada género de leguminosas, según deducciones experimentales de los citados investigadores, ofrece resistencia distinta a la penetración de las bacterias en los pelos radiculares, en relación con las secreciones específicas que planta y microbio producen. La proporción de nitrógeno fijado, depende de la facilidad que el microbio encuentra para invadir las raíces y formar colonias. Bacterias de débil virulencia, sólo penetran en plantas ruines y mezquinas; en cambio las muy virulentas, infectan hasta leguminosas en buen estado vegetativo y de nutrición. Estos resultados llevaron a plantear un nuevo problema, cual es, el estudio de medios prácticos para exaltar la

(1) Puede explicarse esto, admitiendo que, al penetrar el microbio en la raíz, determina una verdadera infección actuando como parásito, hasta que son formados los tubérculos. Si la planta dispone de nitrógeno de otro origen, es decir, en presencia de nitratos fácilmente asimilables, se defiende de la infección absorbiéndolos, con renuncia del beneficio ulterior que la bacteria habría de proporcionarle.

virulencia de las bacterias fijadoras de nitrógeno, hasta lograr aumento de cosecha; y también, para mayor facilidad al mismo efecto, atenuar en lo posible los medios de resistencia propios de la planta, que según Süchting, se hallan en la formación de anticuerpos desde el momento que nace, y por tanto, antes de la infección o con independencia de ésta.

Respecto del mecanismo de asimilación del nitrógeno gaseoso, parece confirmarse, en su parte substancial, la hipótesis que Duclaux emitió en 1889, ya que el cultivo del microbio fijador en medios artificiales, ha permitido seguir las fases del desarrollo y estudiar sus secreciones, fijando las características de vida.

Suponía el eminente bacteriólogo, la existencia de cambios activos entre la planta y sus huéspedes: las bacterias, decía, *toman substancias hidrocarbonadas de las plantas, mientras éstas absorben principios elaborados con nitrógeno atmosférico, que representan productos de desasimilación microbiana.* Justifica esta manera de pensar, con independencia de la demostración experimental, la existencia, por una parte, de numerosos granos feculentos en tubérculos de reciente formación; y por otra, la imposibilidad de empeñar al nitrógeno gaseoso en combinación orgánica con formación de materia albuminoidea, sin destruir hidratos de carbono. No interviniendo energías extrañas, sólo pueden producirse reacciones endotérmicas en concomitancia con otras de entonación contraria. Podría la función clorofiliana suministrar energía para llevar nitrógeno libre al estado de combinación orgánica, como con su intervención se llega en los organismos vegetales a la síntesis de azúcares, almidón y celulosa; pero en ausencia de clorofila, es menester, según leyes termoquímicas, que los seres vivos para construir, destruyan, pues de alguna manera han de agenciarse el calor representado por el primero de estos trabajos.

Mas no se crea basta la entrada de los microbios para iniciar la asimilación de nitrógeno: las bacterias han de evolucionar y

sólo cuando alcancen estado de transformación suficiente, serán útiles a la planta. Durante cierto tiempo, quedan englobadas afectando forma bacilar perfecta; después, al adquirir desarrollo los haces vasculares en las nudosidades incipientes y aparecer, según Zipfel, compuestos xánticos procedentes de la descomposición de nucleinas propias de la planta (1), se alargan y ramifican afectando formas *bacteroides*, y a partir de este momento, la materia mucilaginosa circundante—de naturaleza albuminoidea—es disuelta por las diastasas de la leguminosa y arrastrada por la savia a todas las regiones de la planta, para ser definitivamente asimilada, al propio tiempo que el microbio adquiere aptitud para elaborar nuevas materias nutricias.

Precioso auxiliar para el conocimiento de este importantísimo proceso, han sido los cultivos de *Bacillus radicumicola* en medios artificiales, logrados en primer término por Beijerinck y poco después por Prazmowsky, Laurent, Breal, Nobbe, Hiltner, Mazé, Süchting, Remy, etc. Revistas y obras especiales de Bacteriología agrícola y Micología, contienen detalles precisos de cuanto se refiere a medios de cultivo, aislamiento de especies y técnica conveniente en cada caso, conceptos todos que no pueden tratarse en este sitio; pero no resistiendo al deseo de dar a conocer la transcendental y merítísima labor realizada en este punto por nuestro compatriota doctor de Gregorio Rocasolano—mi querido amigo e ilustradísimo catedrático de Química general de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza, por otros motivos citado con orgullo en este discurso—ya que sus trabajos sobre determinadas materias de Bacteriología agrícola, Fermentación y Biología general, pueden figurar entre los mejores de procedencia extranjera por el sello de originalidad y precisión que ostentan, transcribiremos, extractando, algunos párrafos de su comunicación a la Real Sociedad Española de Historia Natural,

(1) Supone Hugo Zipfel que esto ocurre, porque en cultivo artificial, como resulta de sus observaciones, aparecen bacteroides cuando se agrega trimetilxantina.

publicada en el Boletín de Marzo de 1915 (1), que se refieren a los caracteres del bacilo de Beijerinck en cultivo artificial y su propiedad de absorber nitrógeno atmosférico.

«El medio líquido de cultivo que empleamos, es una decocción de judías blancas, secas, prolongada hasta que comienzan a abrirse. Filtrado el líquido, se añade un gramo de manita por cada 100 cc. y alcalinizado ligeramente por acción de sosa, se esteriliza en la autoclave a 125°. El medio sólido lo preparamos a base del líquido, añadiendo 2 gramos de gelosa por cada 100 cc.

»En su cultivo puro y joven el *Bacillus radicolica*, se presenta en forma cilíndrica de extremos redondeados, longitud de 3 μ y gruesos de 0,5 μ , como término medio. Hecha la preparación a dilución suficiente, se presenta aislado; pero muchas veces dos de estas células se unen por los extremos, de modo que no adoptan el mismo eje. Es polimorfo; se colora con el violeta genciana de Ehrlich, se decolora por el Graham, toma los colores básicos de anilina y con alguna dificultad el azul de metileno.

»Para reconocer la propiedad de absorber nitrógeno atmosférico, formando en su trabajo sintético materias nitrogenadas albuminoideas, practicamos con nuestro cultivo, repetidas veces, el siguiente experimento: En matraces de Erlenmeyer de 300 a 500 cc. de cabida, colocamos 100 cc. del medio líquido de cultivo, cerramos con tapón de algodón y esterilizamos; hecha la siembra con cultivo joven, llevamos los matraces a la estufa que se sostiene a temperatura de 22°. Al cabo de 24 horas, el líquido se enturbia y pasadas 48, aparece un velo viscoso que

(1) Segunda de una serie que apareció en los números correspondientes a Febrero, Marzo, Abril y Mayo. Recientemente—Mayo de 1917—constituyendo el volumen I de los Anales de la Universidad de Zaragoza, se han publicado bajo el título *Estudios químico-físicos sobre la Materia viva*, las brillantes conferencias teórico prácticas del Dr. de Gregorio correspondientes al curso de Extensión universitaria—1915 a 16—destinando una parte del capítulo VIII «Catalisis bioquímica» al estudio de las acciones diastásicas por las cuales asimilan las plantas el nitrógeno atmosférico. Desde luego que su lectura es altamente instructiva e interesante.

se hace más grueso a medida que el tiempo transcurre, terminando por romperse para precipitarse en el fondo. La formación de velos se repite durante 20 días, al cabo de los cuales el fenómeno cesa.

»Transcurrido un mes después de hecha la siembra, esterilizamos los líquidos al autoclave y una vez evaporados en pequeñas cápsulas al baño maría, efectuamos sobre cada uno de los residuos correspondientes a 100 cc., una determinación de nitrógeno total por el método de Kjeldahl, empleando ácido sulfúrico $\frac{1}{100}$ N para la volumetría final del amoniaco. Como previamente habíamos hecho determinaciones por el mismo método con el caldo sin sembrar, es claro que las diferencias encontradas, dan al nitrógeno atmosférico absorbido en las condiciones de experimentación. He aquí los resultados obtenidos en una serie de cuatro determinaciones:

Nitrógeno total del caldo antes de la siembra	Nitrógeno total del caldo después de la siembra	Tiempo	Superficie del caldo en el matraz	Nitrógeno ganado
0,0596 gr. por 100	0,0656 gr. por 100	21 días	75 cm ²	0,0060 gr.
0,0374 »	0,0401 »	30 »	20 »	0,0027 »
0,0335 »	0,0389 »	30 »	75 »	0,0054 »
0,0335 »	0,0388 »	30 »	75 »	0,0053 »

»De estos números se deduce que, en las condiciones de temperatura y medio de trabajo, estando el microbio en presencia de los productos que origina, termina su labor a los 20 días. La formación del velo demuestra la actividad vital del microorganismo, de tal modo que, no presentándose, no hay absorción de nitrógeno, o en otros términos, es la materia viscosa, producto de desasimilación bacteriana, la que posee en forma de compuesto albuminoide el nitrógeno atmosférico absorbido. Esta consecuencia, por la que se deduce un término rápido de actividad,

es perfectamente lógica teniendo en cuenta que, para todos los micro-organismos, son las materias elaboradas el freno que detiene su actividad; y como en las condiciones que operamos no existen medios que las eliminen, la paralización es forzosa. La Naturaleza procede de muy distinto modo, pues absorbidos y transformados después por las plantas esos productos, continúa el trabajo propio del micro-organismo fijador, mientras las condiciones del medio o la temperatura no le sean adversas. Hemos podido comprobar que, a 10°, el trabajo microbiano en nuestros cultivos es prácticamente nulo; su actividad es máxima entre 20 y 30°, paralizándose a 40°. La temperatura mortal es de 60°, si se sostiene durante 20 minutos.

»Otra consecuencia interesante de los experimentos citados y algunos no referidos, es la relación entre el nitrógeno absorbido y la superficie libre del medio. La enorme diferencia entre el nitrógeno fijado en el segundo experimento y los otros, no puede atribuirse más que a la superficie, dada la igualdad de las demás condiciones.

»Como datos para juzgar la actividad del *Bacillus radicolica* en caldos artificiales, conviene advertir que, la mayoría de nuestras investigaciones sobre este micro-organismo, las venimos realizando con cultivo puro obtenido en 1913, que conservamos sembrando de seis en seis meses. Todavía reúne condiciones para mostrar actividad por nueva siembra, el cultivo primitivo que actualmente cuenta 15 meses de edad».

Estudiando las bacterias procedentes de diversas especies de leguminosas, se encuentran diferencias sensibles conocidas y señaladas ya por Beijerinck. Son también hechos demostrados que, al inocular microbios de una leguminosa en otra, se consiguen bacterias, en general, diferentes a las que naturalmente se encuentran en cada una de esas plantas; la inoculación conduce al mejor resultado, siempre que se efectúa con microbios procedentes de leguminosas de la misma especie. Por otra parte, hay observaciones relativas al cultivo de una misma planta

en terrenos distintos, presentándose nudosidades en unos y faltando en otros. Estos hechos y las interpretaciones que cabe dar a la degeneración y merma de rendimientos que una leguminosa experimenta si es cultivada repetidas veces en el mismo terreno, demuestran la existencia de *diversas razas* de bacilos o por lo menos, que la misma bacteria puede presentarse en *varios estados fisiológicos*. Para Laurent se trata de *variedades* de una misma especie. Mazé las divide en dos clases: *calcícolas* y *calcífugas*, según se adapten de preferencia a terrenos calizos o ácidos. Hiltner y Störmer establecen dos especies: *Rhizobium radicolica* y *Rhizobium Beijerinckii*, con diversas formas de adaptación. Para otros sabios, las bacterias de diversas leguminosas son *razas en distinto grado de adaptación* de la misma especie—*Pseudomonas radicolica*—, con diferencias que afectan a los caracteres morfológicos, más especialmente. Por último, Zipfel deduce atendiendo a los efectos de aglutinación producidos por estas bacterias, que las contenidas en las diferentes leguminosas, son *especies distintas* y no variedades o razas de una misma especie.

En todo caso, cualquiera que sea la especie vegetal, en el momento que la planta llega a su término y la savia deja de circular, los tubérculos son desalojados gradualmente, como ya se ha dicho, y el microbio fijador pasa al suelo en calidad de fermento de materias nitrogenadas, sin que hasta el presente, según nuestras noticias, se hayan conseguido aislar estas bacterias partiendo de la tierra.

Segunda forma.—Contribuyen a la fijación por mecanismo distinto del expuesto, numerosas especies microbianas conocidas gradual y sucesivamente por Haselhoff, Beneke y Keutner, Bredemann, etc., en el transcurso de algunos años, a partir de las investigaciones iniciales realizadas por Winogradsky. Suponía este sabio que, si en el suelo existían micro-organismos capaces de incorporar nitrógeno libre a su propia masa, deberían conducirse de manera análoga en medios privados de nitrógeno

combinado, poniendo a su disposición substancias como los hidratos de carbono, capaces de suministrarles el calor necesario. Haciendo siembras en medios apropiados y procurando aislar especies, no tardó en confirmar sus sospechas cultivando un *Clostridium*, al que llamó *Pasteurianum*, anaerobio muy repartido por el suelo y de esporulación fácil (1), que asociado a los bacilos aerobios α y β , fija nitrógeno de la atmósfera, destruyendo en cambio hidratos de carbono—glucosa, fructosa, sacarosa, dextrina, inulina, etc.—en proporción variable con las condiciones de cultivo y composición del medio:

Winogradsky creyó necesaria la simbiosis de los bacilos α y β con el *Clostridium*, porque, en cultivos puros de esta bacteria, no logró demostrar fijación, resultando en cambio muy notoria si asociados esos bacilos, se hace el cultivo en medios con nitrógeno combinado. Dedujo en consecuencia que, los aerobios α y β no pueden vivir sin la intervención de compuestos nitrogenados, cuya presencia, aun en pequeña cantidad, favorece el momento inicial del cultivo, y como absorben oxígeno produciendo anhídrido carbónico, garantizan las condiciones anaerobias que el *Clostridium* exige.

De Gregorio Rocasolano, no está de acuerdo con el criterio de Winogradsky a pesar de haber sido aceptado por investigadores posteriores sin discusiones ni recelos, y, juzgando relativo el carácter anaerobio del *Clostridium Pasteurianum*, logró cultivarlo en condiciones de vida aerobia, a la que se adapta perfectamente, espurulando con mayor velocidad, si bien no presenta los esporos envueltos en cápsulas gelatinosas triangulares, como se manifiestan reproduciéndose en vida anaerobia. Confirmó los resultados de Winogradsky en cuanto a la escasa o nula fijación de nitrógeno en cultivo puro, pero no se muestra conforme en la explicación dada a la intervención de los bacilos α y β , y a la influencia que se les atribuyó en la vida y función biológica

(1) Estos esporos, no pierden la facultad germinativa en varios años.

La relación entre el nitrógeno fijado y el hidrato de carbono consumido, ha sido objeto de numerosas investigaciones tanto para los *Clostridium* como para los *Azotobacter*. Tomando el gramo de glucosa como unidad, varían los resultados dentro de límites bastante extensos—1,8 a 10,5 mg.—por depender de muchas circunstancias—actividad y edad del microbio, composición del caldo, temperatura, cantidad de azúcar presente, tiempo de cultivo, etc.—, pero en general puede afirmarse, por lo que a cultivos artificiales se refiere, es mucho mayor el coeficiente de asimilación (1) en los *Azotobacter* que en los *Clostridium*. La explicación es sencilla: aparte otras razones, las diferencias biológicas determinan en los primeros un mayor aprovechamiento de las energías potenciales residentes en la glucosa, mientras que los segundos, desagregan parcialmente la molécula del referido azúcar produciendo ácido butírico en abundancia, que retiene fracción no despreciable de esa energía (2).

Tercera forma.—Se deben a Laurent y Schløesing—hijos— las primeras nociones acerca de la fijación de nitrógeno por asociación de algas y microbios. Observaron repetidas veces en sus experimentos sobre asimilación de nitrógeno atmosférico por vegetales superiores, que la tierra sostenida húmeda durante algún tiempo, se enriquece de nitrógeno combinado, a la par que va cubriéndose de una capa verde, algo viscosa, constituida por vegetales inferiores, donde el microscopio permite distinguir musgos, algas, hongos y bacterias. No desarrollándose estos micro-organismos, tampoco aumenta la proporción de materia orgánica nitrogenada.

(1) Hasta cuatro veces y más.

(2) Quedando libres 677,2 calorías en la destrucción de una molécula de glucosa—180,096 gr.—formándose agua y anhídrido carbónico como productos finales, y ascendiendo a 524,4 cal.* el calor de combustión del ácido butírico para llegar a los mismos residuos, resultan sólo aprovechadas 152,8 cal.* de toda molécula de azúcar que proporciona otra de ácido—88,064 gr—, es decir, el 22,5 por 100 del rendimiento posible.

Según los citados investigadores, el nitrógeno acumulado se encuentra exclusivamente en las capas superficiales, formando quizá parte integrante de los vegetales que lo fijaron y en especial de las algas, sin que por esto afirmaran la entrada directa en su protoplasma, aunque no excluían tal hipótesis, Schlesing y Laurent observaron, en efecto, la presencia constante de bacterias, pero no llegaron a separar la parte que en la fijación corresponde a éstas y a las algas; y como las cifras obtenidas para el nitrógeno absorbido pudieran representar el resultado global de una serie de transformaciones combinadas, formularon las dos hipótesis siguientes:

Si la energía desarrollada por la función clorofiliana se acumula en las algas, serán éstas capaces de fijar nitrógeno, aun en cultivo puro; si por el contrario es acaparada por las bacterias, corresponde a ellas la síntesis de materia nitrogenada que luego las algas utilizarán en su desarrollo, estableciéndose una simbiosis de mecanismo análogo a la que presentan las leguminosas.

No tardó Kossowicz en demostrar la verdad que encierra el segundo punto de vista, pues no obstante las dificultades que surgen para conseguir cultivos puros de algas microscópicas, logró aislar *Chorella vulgaris* y vió, que no se desarrolla en ausencia de nitratos, aunque disponga de azúcar y otros hidratos de carbono, ni hay en ningún caso fijación de nitrógeno. Acompañada de bacterias, por el contrario, la fijación es un hecho que se verifica con tanta más intensidad, cuanto la proporción de azúcar es mayor, según resulta de experimentos realizados con *Nostoc punctiforme* y otras algas. Investigaciones posteriores a las de Kossowicz realizadas con *Ulothrix flaccida*, *Schizothrix lardacea*, *Sterigmatocystis nigra*, etc., conducen al mismo resultado. La relación entre el nitrógeno que fijan y el azúcar consumido es, por término medio, como 1 a 200, o sea, comprendida entre los módulos correspondientes al *Clostridium* y *Azotobacter*.

En ausencia de azúcar, las bacterias pueden absorber nitrógeno gracias a las materias hidrocarbonadas procedentes de algas vivas o muertas, resultando que, el principal papel de éstas, es determinar condiciones favorables a la función biológica de los microbios fijadores, suministrándoles hidratos de carbono.

Si en la tierra suceden las cosas como en los cultivos artificiales, donde la asimilación decrece con el aumento de compuestos nitrogenados presentes y se incrementa con la de materias orgánicas carboxihidrogenadas, ejercerán los microbios de *reguladores*, sosteniendo el equilibrio entre las taras nitrogenada y carbonada del suelo o tierras de cultivo.

V

Los abonos biológicos.—Su porvenir

Para compensar pérdidas de nitrógeno determinadas por cosechas, aguas de lluvia, fermentaciones y demás causas que contribuyen al empobrecimiento del suelo, intervienen, como es sabido, tres factores naturales de reintegración: aguas meteóricas, microbios fijadores y estiércoles o productos residuarios.

Por el primer concepto reciben las tierras nitrógeno en cantidad variable con multitud de circunstancias, dentro de límites que oscilan entre 2 y 22 kg. por hectárea y año, aceptando Maquenne 10 kg. como cifra media.

El refuerzo aportado por vía bacteriana es, en general, mucho más considerable: lo aprecia Löhnis comprendido entre 10 y 40 kg. por hectárea y año, admitiendo puede alcanzar cifras muy superiores, combinándose favorablemente acciones de microbios propios del suelo desnudo, con las desarrolladas en detritus orgánicos procedentes de anteriores cultivos y los que viven en simbiosis con algas, vegetales superiores, etc.

Los estiércoles devuelven a la tierra nitrógeno en cantidad que se aproxima al 0,5 por 100 de su peso, si bien transformaciones ulteriores producen pérdidas estimadas en la mitad. La utilidad y ventajas de su empleo, han sido en todo tiempo reconocidas considerando estos materiales como abonos completos, ya que al nitrógeno acompañan compuestos de fósforo, potasio, etc., microbios útiles en cultivo reciente y abundantes hidratos de carbono que estimulan y sostienen sus funciones. Los estiércoles además, dada su estructura, determinan cambios beneficiosos en las propiedades mecánicas y físicas de las tierras y por todo este conjunto de circunstancias, usadas como complemento de los dos primeros factores de reintegración, resuelven el problema en absoluto, siempre que se disponga de suficiente cantidad, habida cuenta de la extensión cultivada y naturaleza de las plantas, pues no todas, según es notorio, tienen las mismas exigencias. Mas no es eso lo general: de ordinario se carece de estiércoles y el déficit alcanza proporciones tan colosales, que se imponen los abonos nitrogenados artificiales o químicos, obligando a gastar cientos de millones por tratarse de materias de subida cotización comercial, en las distintas formas que al labrador se ofrecen.

Como no podía menos de suceder, conocido en sus grandes rasgos el mecanismo que fija nitrógeno atmosférico y comprobada hasta la evidencia la decisiva intervención de los microbios del suelo en tan importante fenómeno, se pensó en la posibilidad de emancipar al agricultor de tan onerosas cargas, favoreciendo el desarrollo y trabajo de algunas especies, hasta conseguir nitrógeno en proporción capaz de satisfacer las necesidades de los más exigentes cultivos. He aquí el magno problema que se trata de resolver con los infinitamente pequeños, que si tan justo calificativo ostentan por su tamaño, capaces son de llevar a término gigantescas obras reuniéndose en número infinitamente grande, si las condiciones de medio son favorables para sostener y elevar la potencia de su función.

El *abono biológico*, aspira a reemplazar al químico. La Química y la Biología luchando noblemente, saldrán vencedoras en su aspiración sublime de procurar alimentos al hombre. Es cierto que en la hora actual, la Química avanzó más en el largo y dificultoso camino que se ha propuesto, fijando nitrógeno de manera práctica y en aceptables condiciones económicas, pero no puede desconfiarse de la Biología si en sus primeros ensayos no dió soluciones completas y definitivas: las ciencias progresan sin cesar, nuevos puntos de vista se abren a cada paso y los secretos de muchas manifestaciones que la Naturaleza muestra, ceden ante la presión lenta, continua, minuciosa e inteligente de la investigación. Un estudio más profundo de los microorganismos asimiladores de nitrógeno y el conocimiento de los agentes catalíticos que presiden y regulan tal función, conducirá sin duda a los procedimientos de bio-síntesis que en su automatismo encierran la ansiada baja en la cotización de abonos nitrogenados, facilidades para extender cultivos de intensidad y alza en el rendimiento del suelo por unidad de trabajo.

En busca del abono biológico, el primer medio llevado a la práctica fué recomendado por G. Ville con el nombre de *side-ración*, más generalmente conocido por el de *abono verde*. Consiste, como se sabe, en enterrar una cosecha de leguminosa apropiada en el momento de suficiente desarrollo, o sea, siguiendo los consejos de Lutoslarowsky, cuando comienzan a formarse semillas. La masa herbácea cubierta en otoño o primavera, lleva al suelo humus y nitrógeno, modifica las propiedades físicas, y transformándose lentamente bajo la influencia de las bacterias propias de la putrefacción y nitrificantes, hace posible el cultivo de tubérculos, cereales y otras plantas, ya que por tal medio pueden introducirse en las tierras de labor cantidades de nitrógeno comprendidas entre 100 y 300 kg. por hectárea. El procedimiento, sin embargo, no es siempre aplicable y demanda, por razones fáciles de comprender, elevado coeficiente de trabajo y tiempo.

Salfeld como resultado de experimentos efectuados con tierras turbosas muy pobres de nitrógeno, recomendó enmendar los suelos con tierra en la que se hubiera cultivado leguminosas. La práctica, bien ejecutada, es de positivo resultado; mas para asegurar la eficacia se necesitan 30 ó 40 H l. por hectárea y como su transporte, pocas veces cómodo, es siempre costoso, se intentó remediar el inconveniente empleando cultivos puros de bacterias, puesto que, el procedimiento Salfeld en último término, es una enmienda acompañada de inoculación. Nobbe y Hiltner acometieron la empresa y admitiendo que las simbiosis entre bacterias y leguminosas era específica, cultivaron mezclas de gérmenes recogidos en diversas especies de la familia, con objeto de obtener un producto polivalente que pudiera servir en todos los casos.

Los resultados fueron algún tanto discordantes, y es que los microbios, aparte otras razones, se adaptan, no sólo a una especie vegetal determinada, sino a un suelo de naturaleza dada. La *nitragina* de Nobbe y Hiltner como el *formógeno*, *azotógeno* y otras mixturas bacterianas que vinieron después, pueden prestar buenos servicios en el cultivo de ciertas legumbres y en terrenos que reúnan determinadas condiciones; fuera de casos especiales, la ventura preside su empleo y de aquí la contradicción con la consiguiente división de opiniones. Hay de positivo y fijo, que los buenos efectos han sido siempre consignados en casos de leguminosas y empleando fijadores de simbiosis fácil con la planta; pero nada se ha conseguido con cereales, ni por ahora puede pensarse en acrecentar las cosechas por tales medios. Los microbios asimiladores de nitrógeno atmosférico se prestan mal a la inoculación y precisamente aquí se asienta el gran problema a resolver: *hacerles intervenir en el cultivo de cereales, sin pasar por la fase intermedia de las leguminosas*, y para esto, no basta encontrar bacterias de gran actividad, aislarlas y propagarlas. Este camino conduciría sin duda al aislamiento de razas convenientes a determinados suelos y en ciertas condiciones físicas y químicas de medio, mas no

puede aspirarse a descubrir una especie capaz de amoldarse a todas las exigencias posibles (1).

Las propiedades adquiridas por una especie microbiana, son siempre resultado del ambiente y en consecuencia, para obtener cultivos con el poder asimilador de nitrógeno desarrollado en alto grado, deben conocerse de antemano las condiciones que más favorecen esta función, y sólo en este caso se podrá intentar la acomodación progresiva de los microbios, exaltando y estabilizando la propiedad específica, siempre dentro de una utilización racional y económica de materiales hidrocarbonados, factor variable en extremo con la especie microbiana, edad del fermento y composición del medio.

Mientras estas fundamentales cuestiones y otras que habrán de presentarse en el curso de la investigación, estén por resolver, no puede pensarse, como muy acertadamente dice de Gregorio Rocasolano, que asunto de tan vital interés como es el aumento de la producción agrícola de las tierras, incrementando en ellas el nitrógeno disponible para las plantas por fijación del existente en el aire, ha de resolverse. La inoculación de tierras o de semillas, es uno de tantos objetos de investigación científica, y bien está que se estudie en Granjas agrícolas o establecimientos análogos, por personas que poseen la necesaria cultura científica para interpretar los resultados de la experimentación; pero de ningún modo debe ponerse este asunto como resuelto en manos de labradores que no entienden de estas y otras materias científicas, dándoles como solucionado problema que, en rigor de verdad, la Ciencia ha de resolver todavía en los laboratorios.

Agreguemos que, cuando en éstos se haya llegado a resultados en apariencia concluyentes, el problema distará mucho de haber alcanzado solución práctica. Los medios artificiales no son como el natural, donde tanto varían la composición

(1) A esto aspiraba Caron con su *alinita*, fabricada en Elberfeld, y fracasó en cuanto fueron realizados los primeros ensayos.

química y condiciones físicas, y no se puede tomar como base el trabajo que un micro-organismo rinde en cultivo puro, para calcular su efecto en las tierras con él inoculadas. Aun suponiendo, cosa irrealizable, identidad de medio físico-químico, en el suelo se encuentran especies de aptitud variada, cuyo trabajo, sucesivo unas veces y simultáneo otras, influye notable y poderosamente en el rendimiento de sus vecinas, que resulta favorecido en unas ocasiones, y en otras disminuído o anulado. Por ésto, y partiendo de la influencia positiva que la flora bacteriana ejerce en el rendimiento de las cosechas, lo importante en realidad no es la riqueza de aquélla, sino el equilibrio que rige a las múltiples acciones verificadas en el suelo. Así, los fermentos nitrificantes que tanto contribuyen a la fertilidad de las tierras, resultan dañinos si dominan con exceso, porque además de rendir con su trabajo bioquímico cantidad de nitratos que las plantas no absorben en totalidad, retrasan el desarrollo de especies encargadas de transformar hidratos de carbono y por reflexión, se oponen al funcionamiento de las bacterias fijadoras de nitrógeno. Teóricamente se puede proceder a la selección de fermentos útiles, eliminando directamente los dañinos, o introduciendo especies beneficiosas de gran resistencia; en la práctica, no hay medio seguro de mantener en equilibrio favorable la flora bacteriana del suelo.

Se recomiendan a tal efecto procedimientos diversos que no cabe detallar en este sitio, pero no es posible dejar sin aludir, aun exponiéndonos a ser demasiado parcos, los notables resultados que en el aumento de cosechas se consiguen con los llamados *abonos radiactivos*, objeto de modernas y recientes investigaciones en las que toma parte positiva y ciertamente muy afortunada, un importante Centro de cultura español (1). Como

(1) En el *Instituto de Radiactividad* afecto a la facultad de Ciencias de la Universidad Central, sabiamente dirigido por el Catedrático de Mecánica química Dr. Muñoz del Castillo, se trabaja con asiduidad y empeño hace más de seis años en materia de Radiactividad agrícola,

conclusión general de cuanto allí se ha hecho y visto, dice nuestro querido ex-discípulo Amando Castrillo, en el resumen de los trabajos realizados durante los años 1912 al 16: «*La fertilidad de las tierras de cultivo en igualdad de las demás circunstancias, está en razón directa de la radiactividad que poseen. La radiactividad es un poderoso factor de energías vitales para las plantas y donde se hace presente, no tardan en exteriorizarse sus beneficiosos efectos en grado extraordinario, ya sea en el mayor desarrollo de las raíces; máxima altura de los tallos; esplendidez y lozanía del follaje; precocidad en la floración y germinación o bien en la mayor cantidad y peso de frutos y semillas, efecto perseguido en último término.*»

¿Cómo obra la radiactividad propia de los terrenos labo-
rables o la introducida por medio de abonos apropiados? ¿No
constituyendo los cuerpos radiactivos materias nutritivas, se
trata de acciones catalizadoras o energéticas? Stoklasa pretende
demostrar que la radiactividad, ejerce influencia sobre la circu-
lación general del nitrógeno, favoreciendo el trabajo bio-sintético
de las bacterias asimiladoras de aquél y retardando al mismo
tiempo la acción de las nitrificantes. Sería muy aventurado
emitir juicios concretos y definitivos sobre el alcance de la
radiactividad en las prácticas agrícolas y mecanismo de su acción,
cuando los estudios no han salido de su primera fase y se trata
de elementos cuyos caracteres químicos y fisiológicos no están
bien definidos y determinados; pero es indudable y manifiesta
su influencia sobre los seres vivos y al vegetal pueden llegar
los efectos directamente, o lo que es más probable, por inter-
medio de las bacterias. En este caso el abono radiactivo, pudiera
ser un coadyuvante del biológico, o excitatriz directo de la energía
potencial del suelo y vigorizador de su actividad plasmadora.

como lo demuestran brillantes publicaciones en el Boletín del Instituto, folletos diversos, conferencias y cursillos, etc., manifestaciones todas, que evidencian la fecunda obra realizada por el ilustrado personal del referido Centro.

En vista de cuantas consideraciones llevamos expuestas, cabe preguntar: ¿Qué porvenir está reservado a los abonos biológicos? El criterio sustentado por P. Mazé hace años, y después de ensayados algunos productos comerciales de esa categoría, era radical. La incorporación de cultivos puros de microbios al suelo arable, decía, *no constituirá jamás práctica ventajosa*. No negaba Mazé que al progresar la Bacteriología pudiera cambiar el aspecto de la cuestión, pero los argumentos que servían de apoyo a su manera de pensar, subsistirán siempre con toda su influencia, aunque se les niegue el carácter de factores decisivos. En efecto: los gérmenes de toda especie microbiana se encuentran profusamente repartidos y toda la superficie de la Tierra es para ellos accesible; el viento, las aguas y en general todos los medios de diseminación posibles, los transportan por doquier. Si en un terreno falta determinada especie, será porque carece de condiciones para su desarrollo y nada se conseguirá por lo tanto con la inoculación, pues los microbios introducidos sucumbirán lo mismo que los llevados por el viento u otro medio. Para aclimatarlos donde no se reproducen naturalmente, será necesario modificar las propiedades y composición de la tierra por medio de labores, enmiendas, drenajes, estercoladuras, etc., etc., lo que explica como Salfeld conseguía resultados tan positivos.

De Gregorio Rocasolano esgrime más acentuados y con base más documentada los argumentos de Mazé, para el momento actual. Respecto del porvenir, opina se llegará a dar solución racional dentro de la práctica agrícola, a la fijación del nitrógeno atmosférico por vía bacteriana, adoptando como fundamento las conclusiones a que se llegue en el estudio de la composición de medio más favorable al desarrollo de los micro-organismos específicos, orientándose, quizá, en el sentido de utilizar las acciones catalíticas que algunos elementos ejercen en la actividad funcional de esos seres.

Effront coincide hasta cierto punto con el anterior modo de ver. Elegido, dice, un fermento conveniente, hay que estudiar el

medio de acrecer su resistencia para la vida, exaltando el poder asimilador de nitrógeno y reduciendo la destrucción de hidratos de carbono. Estos conceptos que a primera vista parecen de realización imposible, no resultan tan inabordables después de un atento examen: se trata, en realidad, de acentuar las propiedades específicas de ciertas bacterias, modificando la cantidad de los catalizadores que intervienen en el trabajo microbiano, como de manera tan satisfactoria se ha conseguido en otras fermentaciones, objeto hoy de activa explotación. ¿Acaso los fermentos industriales son otra cosa que microorganismos comunes acomodados gradual y sucesivamente al trabajo que determinan? Las levaduras empleadas en la fabricación de alcohol, cerveza y pan, son tipos de fermentos que reconocen origen común y gozan sin embargo de propiedades específicas distintas; la diferencia se establece con la naturaleza y proporción de los catalizadores puestos en juego.

La aclimatación a medios especiales, puede contribuir a la secreción de *zymasas* que, en condiciones ordinarias, no se encuentran en proporción apreciable. Así, Effront ha visto, como levaduras habitualmente inactivas ante las dextrinas, segregan *amilasa* y adquieren en consecuencia la propiedad de transformar al citado hidrato de carbono, cuando están aclimatadas a vivir en caldos nitrados. Eligiendo medio apropiado, puede exaltarse en la levadura a voluntad, el poder fermento o la aptitud para crecer y multiplicarse. Y si bien es verdad que las propiedades adquiridas por acomodación, no son definitivas y desaparecen con el tiempo al cambiar el medio de condiciones, los caracteres impresos subsisten los días y hasta los meses suficientes para su utilización industrial (1).

(1) En corroboración de esta manera de pensar, cita Effront ejemplos notabilísimos y brillantes sobre lo que puede la aclimatación o acomodación, en el rendimiento del trabajo químico de las bacterias. Por el interés que revisten, dentro de los asuntos aquí tratados, citaremos dos, entre los diversos que apunta:

Nuestra opinión está conforme, en principio, con la sustentada por Mazé y de Gregorio. Creemos que la inoculación del suelo por cultivos microbianos, nunca será, en general, base de transformación de las prácticas agrícolas con resultado tan feliz, que pueda alejar al cultivador del mercado de abonos nitrogenados. Se encontrarán los catalizadores positivos más adecuados o ventajosos para activar prodigiosamente la fijación del nitrógeno atmosférico: llegarán a precisarse para el trabajo *in vitro*, condiciones de medio, cantidades exactas, temperatura óptima y superficie conveniente; la selección será rigurosa y ningún microbio extraño se mostrará en las colonias; el poder fermento, vigor y persistencia de la propiedad específica, se habrán exacerbado; en una palabra, los factores todos del rendimiento se hallarán dispuestos para el trabajo máximo y sin embargo, la tierra recibirá casi siempre con indiferencia la pócima que se le agregue. ¡Algunos millones más de microbios

Müntz y Lainé estudiando con minuciosidad el funcionamiento de las *nitrerías artificiales*, llegaron a establecer una marcha racional que elevó el rendimiento en la proporción de 1 a 60. El nuevo método—que utiliza la turba como primera materia, dado el origen orgánico y sus propiedades físicas—se basa en la acomodación sucesiva de los fermentos nitrificantes, a dosis crecientes de sulfato amónico y nitrato. El sulfato o materia a transformar, que se emplea en disolución al 2,5 por 1000 en un principio, alcanza después el 5, 7, etc., por 1000, logrando llegar a líquidos que contienen nitratos en cantidad equivalente a 200 gr. del potásico por litro.

El segundo ejemplo se debe a la iniciativa e investigaciones del propio Effront. Demostrado previamente que el *Bacillus butyricus* en las mismas condiciones de tiempo y de medio, es el que transforma mayor cantidad de nitrógeno amino ácido en amoniacal, sometió la levadura a un verdadero tratamiento de aclimatación a temperaturas elevadas y medios de mayor concentración nitrogenada. El efecto logrado fué excelente: bacterias que trabajando en caldos con 5 gr. de nitrógeno por litro, a 42° C—temperatura óptima—producían en 24 horas 0,15 gr. de nitrógeno amoniacal, fueron transformadas en otras que actuando a 55° C en líquidos con 16 gr. de nitrógeno por litro, llegaban a producir 1,45 gr. de nitrógeno amoniacal en 24 horas. Conviene advertir para apreciar en su justo valor el resultado de la comparación que, la levadura no aclimatada produce menos amoniaco a medida que aumenta en los caldos la concentración de nitrógeno.

que en ciertas parcelas bien dispuestas alterarán pasajera-mente el equilibrio rindiendo algún provecho, mientras que en otras, sucumbirán en curso rápido por falta de condiciones! Y cómo dotar de éstas a suelos que por naturaleza no las presentan, es cuestión—aparte influencias de clima no modificables—de enmiendas, laboreos, agregación de materias y modificaciones diversas, que capitalizadas conducen de ordinario a cifras superiores a las alcanzadas por el costo de los abonos nitrogenados químicos necesarios para conseguir el mismo efecto útil, resulta que, el abono biológico, sólo conveniente en determinadas tierras y cultivos, y tal como hasta la fecha se ha venido ofreciendo y empleando, está llamado a desaparecer dejando como sedimento de su paso, una tentativa más que la Historia de la Ciencia consignará en todo su valor para estímulo y enseñanza de las generaciones venideras.

Parécenos que cambiando la orientación y el concepto del abono biológico, se podría llegar a resolver económicamente por procedimientos bio-sintéticos, el magno problema de la alimentación nitrogenada de las plantas. Bastaría para ello, hacer entrar en fábrica las bacterias captadoras de nitrógeno, explotando los productos que elaboran. El caso es muy distinto del hasta aquí ensayado: una cosa es agregar al suelo cultivos bacterianos capaces de realizar determinado trabajo y otra incorporar el resultado de ese trabajo llevado a término sin las influencias del medio natural, tan diversas, tan variables y de tan difícil y onerosa modificación.

Absorbido el nitrógeno por las bacterias, cumplirán los compuestos formados su función fisiológica, pero más o menos tarde y en manifestaciones múltiples, aparecerán como productos de secreción o excreción del microbio vivo o formando parte de la masa del organismo muerto, y bien en estos estados o previa transformación, podrán incorporarse a la tierra. Se trata en una palabra, de encontrar marcha análoga a la seguida para establecer las nitrerías de alto rendimiento conseguidas por

Müntz y Lainé (1). Cada matraz o vaso donde se cultivan microbios fijadores, es una pequeña fábrica racional y moderna; falta agrandarla haciendo práctica e intensa la producción y esto conseguido, los microbios suministrarían materias nitrogenadas en abundancia, a cambio de hidratos de carbono: el precio a que resultara cada kg. de nitrógeno combinado, decidiría.

(1) No se ha llegado a la explotación industrial de estas nitrerías, porque los procedimientos sintéticos que parten del aire son, al parecer, de mayor porvenir. Además, en la producción biológica de nitratos hay que partir de sales amoniacaes como materia prima, y el nitrógeno de éstas es casi tan caro como el de los nitratos. El mecanismo, sin embargo, es conocido y en caso preciso podría excepcionalmente ser utilizado.

Fijación química del nitrógeno atmosférico

I

Consideraciones generales

Más que difíciles, atrevidos y quiméricos pudieron considerarse años atrás los intentos de fijar nitrógeno, dada la indolencia y pasividad que se venía atribuyendo a este cuerpo, creándole esa falsa reputación que el propio nombre de *ázo*e con que Lavoisier le designara, contribuyó a sostener y propagar. Consúltense los tratados de Química de casi todo el siglo XIX y en cuatro palabras queda resumida la del nitrógeno, encontrando con rara unanimidad los calificativos de inerte e incapaz. Las combinaciones con boro y magnesio a elevada temperatura, son citadas por algunos autores como cosa rara y excepcional, y aun pudieron sumarse dos reacciones positivas utilizadas hoy por la industria, cuyo conocimiento es bastante remoto: Cavendish advirtió ya en 1784, que bajo la influencia de chispas eléctricas, nitrógeno y oxígeno se combinan con producción primaria de óxido nítrico o bióxido de nitrógeno; y muchos años después Margueritte y Sourdeval, conocieron la formación de cianuros, actuando nitrógeno sobre mezclas de carbón y bases alcalinas o alcalino-térreas.

Afortunadamente, podemos decir hoy, la pasividad del nitrógeno constará sólo en los archivos de la Ciencia. Se trata,

en efecto, de cuerpo activo que forma parte de numerosos e interesantes compuestos, exigiendo, nada más, se llene alguna condición para desplegar su aptitud y afinidades. La inercia, que es cierto manifiesta en muchos casos, tiene asiento en la gran estabilidad de su molécula: los dos átomos que la forman aparecen sólidamente unidas y no es fácil, en condiciones ordinarias, encontrar sustancias capaces de dislocar tal enlace. Será cuestión de intensidad, pero esto no constituye excepción: el hidrógeno y hasta el mismo oxígeno considerados en estado gaseoso diatómico, son también cuerpos bastante indiferentes a bajas temperaturas. La diferencia se encuentra en el distinto grado de calor necesario para alcanzar la disociación de la molécula: mientras oxígeno e hidrógeno al rojo, es decir, a 600 u 800° actúan con facilidad, el nitrógeno exige para alejar los átomos de la zona de frotamiento o reposo químico y vencer la inercia característica, temperaturas superiores a las de fusión de los metales más refractarios.

El problema de la fijación dependía por tanto, de la producción y aprovechamiento de elevadas temperaturas, descartada la influencia que en su actividad ejercen los catalizadores, ya modificando profundamente las condiciones de acción para llevar al resultado apetecido con menos violencias, o mostrando, quizás, nuevas e imprevistas formas de combinación de innegable provecho y trascendencia.

Conseguida la combinación, nada más fácil que modificar los cuerpos resultantes, dada la extraordinaria sensibilidad de las materias nitrogenadas ante los agentes químicos de transformación. Precisamente su labilidad y fácil cambio, explican el importante papel que el nitrógeno combinado y en especial bajo forma de materia albuminoidea, juega en los organismos vegetales y animales donde, en calidad de elemento fundamental, se encuentra repartido por tejidos y humores, siempre con plasticidad suficiente para acomodarse a las transformaciones incesantes y características de la vida.

En dos categorías pueden agruparse los procedimientos químicos hasta ahora conocidos para fijar nitrógeno atmosférico: transformación en *ácido nítrico* o en *producto amoniacal*, existiendo también medio práctico para pasar del amoniaco al expresado ácido, lo que permite llegar, dentro del mismo recinto industrial, al nitrato de amonio, preciosa materia fertilizante que encierra en igualdad de peso, mayor cantidad de nitrógeno asimilable que los demás abonos nitrogenados artificiales o químicos (1).

II

Fijación al estado de ácido nítrico

Los procedimientos de esta categoría tienen por fundamento la *combustibilidad condicional* de la atmósfera. Como ya quedó demostrado por el químico inglés Cavendish, nitrógeno y oxígeno se combinan y tal resultado, químicamente definido, es una *combustión sin propagación*, como consecuencia del carácter endotérmico del compuesto resultante: gracias a ésto, la masa gaseosa envolvente del planeta y medio de nuestra actividad, es prácticamente incombustible. La combustión se propaga en todas aquellas mezclas gaseosas que, además del carácter exotérmico de los compuestos formados, presentan temperatura de inflamación relativamente baja; así, alcanzada que sea, la reacción se inicia, el calor producido la propaga a las regiones inmediatas, y la combustión invade con rapidez todos los puntos de la masa. En el aire, y considerando tan solo sus componentes fundamentales,

(1) En estado de pureza contiene 35 por 100, que puede descender hasta el 33 en las suertes comerciales. Los sulfatos de amonio presentan de 20 a 20,50 por 100 de nitrógeno—21,2 por 100 el producto puro—.

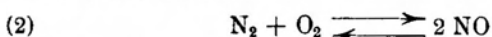
La calcio-cianamida teóricamente, es decir, la especie de fórmula CN_2Ca , encierra tanto nitrógeno como el nitrato de amonio, pero los productos industriales rara vez alcanzan riquezas del 20 por 100.

ocurre lo contrario: la temperatura de inflamación es alta—siempre superior a 1000°—y no habiendo calor que la sostenga y propague (1), la reacción se detiene. Otra particularidad de la unión de oxígeno y nitrógeno es, su carácter de limitada o reversible (2) y por tanto, el bióxido de nitrógeno formado se retrograda, efecto que en la práctica conviene anular o reducir, para continuar la síntesis del ácido nítrico con más elevados rendimientos.

La proporción de ácido nítrico, aumenta con la temperatura (3), pero como alcanzado el equilibrio (4) también la reacción inversa gana en rapidez, como consecuencia del fenómeno general de reversibilidad, se impone enérgica refrigeración de la masa caliente, hasta conseguir se reduzca a cero la velocidad de aquélla. A 600° el óxido nítrico se combina con oxígeno sobrante formando peróxido de nitrógeno, que no se descompone: en consecuencia, el referido grado marca el límite mínimo de efecto a conseguir por el enfriamiento.

Formado el peróxido, basta el agua para obtener ácido nítrico (5), cuya concentración o dificultades de transporte se

(1) El óxido nítrico—NO—se forma con absorción de 21,6 cal.^s por molécula—30,01 gr.—

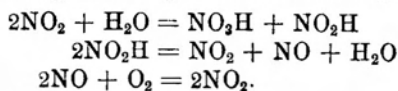


(3) Nernst encuentra las cantidades siguientes, expresadas en volumen:

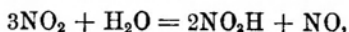
A	1538° C.....	0,37	}	NO por 100
	1760°.....	0,64		
	1922°.....	0,97		
	2927°.....	5,00		

(4) En tiempo que disminuye a medida que el calor aumenta.

(5) Se origina al mismo tiempo ácido nitroso que, en último término, se convierte en nítrico según las siguientes reacciones:



También se admite la igualdad:



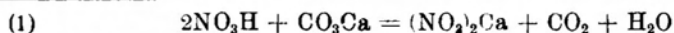
muy posible, sobre todo, en contacto del agua fría; pero de las antes escritas no se puede dudar encontrándose nitritos en los productos de neutralización.

obvian, transformándole en sal de calcio, que sustituye con ventaja al nitrato sódico (1). Según modernas investigaciones agrícolas, el nitrógeno que la planta asimila ha de ser absorbido bajo forma de nitrato cálcico, a la que llega también el sódico, por doble descomposición con las materias calizas del suelo (2).

Tal es, en resumen, el mecanismo de la obtención de ácido nítrico partiendo del aire: sencillo en teoría, es verdad, mas las dificultades surgen en la práctica por todos lados y sólo después de algunos años dedicados a pruebas y tanteos, comenzó a ser explotada la mina de nitrógeno que desde el origen del hombre viene cerniéndose sobre su cabeza. La electricidad aquí, como en otras manifestaciones del progreso, es el taumaturgo cuyo mágico poder transforma al gas inerte en activísimo agente de vida.

La primera patente que se refiere a la fabricación industrial del ácido nítrico por procedimiento eléctrico, dícese fué obtenida por Mme. Lefébre, que utilizaba un sencillo mecanismo de rendimiento escaso, aun considerado como ensayo de laboratorio; pero lo positivo es, que si bien los intentos no cesaron de repetirse y especialmente en el interregno 1882-1895, hasta la última fecha, y mejor, hasta 1898, cuando Willian Krookes fundándose en los trabajos de Davis Wood, creyó en el próximo agotamiento de los yacimientos de nitro en vista de la creciente progresión de su consumo, no preocupó seriamente la cuestión.

Hacer historia y describir los procedimientos ideados, sería larga tarea e impropia de esta ocasión, por cuyo motivo, nos reduciremos a indicar que, entre los elevados a categoría de industriales—Bradley y Lovejoy, Kowalski y Moscicki, Schönherr y Birkeland-Eyde—es más práctico el del físico noruego



Después se propuso utilizar el ácido diluído para atacar fosforita, obteniendo así *superfosfatos nitrogenados*, de eficaz poder fertilizante.

(2) Presenta, además, el nitrato de calcio sobre el nitro de Chile, las ventajas de no contener percloratos ni acumular en las parcelas sales sódicas, enmendando con positivo resultado los terrenos faltos de cal.

Birkeland, autoridad científica conocida también por sus trabajos sobre las *tormentas magnéticas y auroras boreales*; pero como este procedimiento no envuelve ya novedad por estar publicado hasta en los tratados elementales de Química de fecha algo reciente, tan sólo expondremos algunos conceptos referentes a la producción y mejoras introducidas o posibles, pasando a describir con rapidez los fundamentos de otros propuestos después —*Badische anilin und Sodafabrik y Salpetersaure Industrie Gesellschaft*— así como los métodos no electrolíticos, industriales o en vías de serlo.

Procedimiento Birkeland-Eyde.—En el horno eléctrico Birkeland primeramente construido en Notodden—Noruega—el arco voltaico determinado entre electrodos de carbón por corriente alterna de 5000 voltios y sometido a la acción de poderosos electro-imanés, se extiende en un disco de dos metros de diámetro y débil espesor, que ofrece gran superficie de contacto y constituye, atravesado por rápida corriente de aire, un mecanismo de función parecida al llamado *tubo caliente y frío*, que Sainte-Claire Deville propuso para estudiar la disociación de algunos cuerpos. Los gases experimentan dos cambios bruscos de temperatura: en el primero, hay formación de óxido nítrico y en el segundo, que es de descenso, se asegura la estabilidad del compuesto formado.

En un principio, utilizando un salto de agua con potencia de 40.000 H. P., se instalaron nueve hornos, alcanzando por año una producción de ácido nítrico representada por 25.000 Tm. de nitrato cálcico (1). El rendimiento, exiguo evidentemente,

(1) La composición de este nitrato es la siguiente, como término medio:

Acido nítrico (anhidrido).....	50,25
Cal.....	26,00
Agua.....	23,50
Magnesio, sílice, etc.....	0,25
	<hr/>
	100,00

en relación con la energía consumida, denotaba a toda luz operación poco aceptable en el aspecto económico: no se alcanzaba más del 4 por 100 y es muy poco obtener cuatro toneladas de nitrato, con la energía que debía producir ciento.

Las determinaciones de Nernst en otro lugar consignadas, explican tal resultado: suponiendo que los gases al atravesar el arco alcancen temperatura de 2900 a 3000°, el Kw-año debe producir 810 a 850 kg. de ácido nítrico, ya que la proporción de óxido nítrico formado es del 5 por 100; pero como la reacción es reversible y una parte del óxido se destruye durante el enfriamiento, no se consiguen en realidad más de 600 kg. por Kw-año, quedando en consecuencia reducido para los efectos prácticos el 5 por 100 de óxido nítrico, al 4 por 100 o menos. Sin embargo, a pesar de las condiciones tan desfavorables en apariencia, la nueva industria instalada en Noruega realizó progresos enormes, porque, la península Escandinava, es el país donde las fuerzas hidro-eléctricas son más baratas: los saltos naturales con caudal constante abundan, no distan en general del mar y todo parece hallarse dispuesto para atraer la actividad y el capital. Matignon, expresando la impresión que le produjo su visita a las fábricas en otoño de 1912, dice:

«Diez mil personas viven actualmente alrededor de la *Sociedad Noruega de Nitrógeno*, en un país que en 1906 era casi un desierto, donde tan sólo aparecían instaladas algunas

Constituye un material de color variable con la caliza empleada en la neutralización del ácido, y muy delicuescente. Se evitan los inconvenientes que esta propiedad representa para distribuirlo por los campos con cierta uniformidad, no abriendo los barriles que le contienen hasta el momento del empleo; pero es mejor preparar, según después se propuso, un *nitrato básico* que se pulveriza bien y conserva seco. Esta sal básica es transformada en el suelo por el carbónico del aire, en carbonato cálcico y nitrato neutro, que con facilidad se infiltra en el terreno, dada su delicuescencia, y establece contacto con las raíces.

Es frecuente que al nitrato de calcio, acompañe algo de nitrito, considerado por algunos perjudicial para la germinación. En todo caso, si se emplea pasado el primer periodo de desarrollo de las semillas, los peligros desaparecen.

miserables viviendas. En el mes de Octubre, 75.000 H. P. trabajaban regularmente en la producción de ácido nítrico, tanto en las fábricas de Notodden como en las de Saaheim, distantes unos 80 km., con buenas comunicaciones por mar y ferrocarril organizadas por la citada sociedad. La caída o salto Ryukan II, cuyos trabajos de aprovechamiento están ya muy adelantados, suministrará 227.000 H. P.; también es propietaria la sociedad de otros saltos—Wamma con 55.000 H. P.; Tyin, 81.000 y Matre, 83.000—que elevan a más de 500.000 caballos eléctricos la fuerza disponible y capaz, aun con los rendimientos apuntados, para producir al año 280.000 Tm. de nitrato cálcico, material que aproximadamente representa un 15 por 100 del consumo mundial de nitrato sódico» (1).

En realidad, hay que esperar mucho más beneficio de tan importantes efectivos de energía. La industria del ácido nítrico aéreo, como toda forma nueva, no pudo sustraerse de la ley general y si ésta demuestra siempre evolución positiva y perfeccionamiento innegable, cabía pensar con fundamento en mejoras notables, implantadas ya algunas y en vías de serlo otras. Veamos en qué consisten y cómo afectan a los factores de producción:

(1) Aunque esta cifra quede reducida al 12 por 100 y no se consiguiera mejorar, resultaría que, con menos de 4 y $\frac{1}{2}$ millones de caballos, quedaba sustituido el nitro de Chile y Perú. ¿Se dispone de esta energía? Las estadísticas no son muy precisas en este punto, pero puede calcularse no bajarán de 35 millones H. P. las fuerzas hidráulicas de Europa, correspondiendo 13 ó 14 a los Países escandinavos y 10 a los Alpes repartidos entre Francia, Suiza, Alemania, Austria e Italia.

Por lo que a España se refiere, cálculos insertos en el *Boletín de la Unión Eléctrica Española* en 10 de Noviembre de 1908, asignaban 5.000.000 H. P. de potencia disponible en *hulla blanca*. La cifra pudo resultar elevada, pero en todo caso demuestra que, aun dejando buen margen para el coeficiente de la parte no utilizable por dificultades prácticas y restando la energía que pueda derivarse en otras de sus múltiples aplicaciones, sobra capacidad para producir abonos nitrogenados sintéticos en la proporción que demanda el consumo interior, suponiendo intensificada, hasta duplicarse, la producción agrícola de nuestro suelo.

En las fábricas de Noruega, los vapores nitrosos absorbidos por el agua en grandes torres de construcción costosa, eran neutralizados con caliza y evaporadas las disoluciones resultantes para obtener el nitrato formado (1). Las modificaciones propuestas por Sehløsing representan economía notable y simplificación de tales prácticas. En efecto: la absorción del peróxido de nitrógeno con formación directa de nitrato, puede operarse por vía seca mediante cal sostenida a 300°, suprimiéndose de tal suerte las voluminosas torres de granito, maniobras de neutralización y evaporaciones subsiguientes. Afirma además el autor de estas innovaciones, que la absorción de vapores nitrosos es completa, cosa que con el agua no sucede, pues siempre hay pérdida de nitrógeno combinado, que para ser reducida en lo posible, obliga a producir algo de nitrito sódico, al lado del nitrato cálcico.

Tanta o mayor trascendencia en el aspecto económico, revisten las consecuencias derivadas de otra categoría de hechos y consideraciones. Establece la teoría que, la proporción de

(1) Las torres de absorción son de granito y afectan forma prismática con sección de 4 m² por 10 m. de altura. Dos tercios de la capacidad, aproximadamente, se llenan con fragmentos de cuarzo, y como en todos los aparatos de este género, los vapores ácidos y el agua, circulan en sentido inverso. Al salir los gases de la última, aún contienen 20 por 100, como término medio, de los primitivos óxidos de nitrógeno y para no perderlos, se hacen atravesar por otras torres de madera, regadas con disolución de carbonato sódico; se forma nitrito que tiene buen aprovechamiento, pero no se logra absorber todo el nitrógeno oxidado inicial, del que se pierde una parte.

El ácido nítrico puede concentrarse hasta riqueza de 95-98 por 100, utilizando el calor de los gases que salen de los hornos, cuestión que ha sido muy bien resuelta en las fábricas de Notodden. Destinando el ácido a preparar nitrato de calcio, se utiliza como sale de las torres de absorción. El tratamiento de la caliza se hace en cubas de granito, agregando al final pequeñas cantidades de cal viva para conseguir disoluciones neutras, o nitrato básico de calcio si se acentúa más la proporción de álcali. En la concentración se utiliza vapor procedente de la caldera destinada a enfriar los gases y no se da por terminada, hasta que el producto frío solidifica en masa o hasta punto de cristalización, si se desea nitrato más puro.

nitrógeno oxidado, debe aumentar si la mezcla gaseosa inicial contiene volúmenes iguales de oxígeno y nitrógeno. El cálculo permite también determinar el valor del rendimiento, en relación con el grado de calor en el momento de reacción: suponiendo temperaturas comprendidas entre 1500 y 5000° absolutos y calculando las cantidades de óxido nítrico producido operando con aire o con mezclas en volúmenes iguales de sus componentes fundamentales, se llega a los resultados siguientes:

TEMPERATURAS		NO por 100 en volumen	
Absolutas	Ordinarias	Aire	Vol. iguales de O y N
1500°	1227°	0,69	0,61
2000°	1727°	3,02	3,77
2500°	2227°	8,96	11,20
3000°	2727°	18,40	23,00
3500°	3227°	31,20	39,90
4000°	3727°	46,20	57,60
5000°	4727°	80,30	100,00

De donde se deduce que, si en los rendimientos prácticos— desde luego siempre menores que los teóricos—se conserva la misma o parecida relación a cada temperatura para ambas mezclas gaseosas, en trabajo efectuado a los 3000° absolutos—supuesto que no se apartará mucho de la realidad—la mejora en el rendimiento no debe ser menor del 25 por 100 sobre el conseguido con la primitiva marcha de fábrica, es decir, tratando aire. Podría, pues, obtenerse 500 kg. de nitrato, con la misma energía que produce 400.

Descartando teorías, una mayor producción ha sido observada por cuantos experimentaron sobre la materia, utilizando adecuadas disposiciones. Kowalski primero y Moscicki después, encontraron el 20 por 100 de refuerzo, agregando al aire la mitad de su volumen de oxígeno, es decir, aproximándose a

la mezcla de oxígeno y nitrógeno en volúmenes iguales. Guye halló aumentos variables del 16 al 60 por 100, según condiciones (1). Es además posible que el papel de la electricidad en la formación de óxido nítrico, no sea puramente térmico como Nernst ha supuesto; son posibles acciones ionizantes en las moléculas de ambos gases, y claro es, que los rendimientos podrían mejorarse, conociendo la intervención de los nuevos factores, así como la manera de regularlos y conducirlos al fin deseado.

Un punto queda sin embargo por examinar. Hasta el momento sólo se ha hablado de las ventajas resultantes de oxigenar el aire; pero esta práctica que exigiría disponer enormes volúmenes del comburente gas, cuya extracción no puede realizarse sin considerables gastos ¿resultaría gravosa para el producto comercial a pesar del beneficio que representa la mayor producción? En principio, parece el aire tal como está constituido el gas práctico o mezcla que debe utilizarse: los gastos de fabricación de oxígeno serían desde luego altamente reproductivos, si la combinación con el nitrógeno fuera, no ya íntegra, sino alcanzando a la cuarta parte de los volúmenes puestos en juego; pero producir 100 m.³ de oxígeno para conseguir, previa suma con el contenido en 206 m.³ de aire, la combinación aproximada de 7,5 m.³, nunca podría recomendarse de no existir circunstancias favorables, conexiones afortunadas entre industrias diversas y oportunidad en el momento científico que las cuestiones se planteen, motivos todos que coinciden en este caso, cambiando el cliché al superponerse los progresos.

Al mismo tiempo que Linde y Claude perfeccionaban las máquinas de liquidar aire, consiguiendo separar por destilación sus componentes principales casi de modo perfecto, pasaron a

(1) Haber y König trabajando con aire enrarecido y exceso de oxígeno, consiguieron concentraciones de óxido nítrico próximas al 14 por 100 pero en el terreno industrial, no es fácil llenar las exigencias de mercado que tal método demanda.



la categoría de industrial un nuevo procedimiento electroquímico de fijar nitrógeno atmosférico, bajo la conocida forma de *cianamida-cálcica*. En la preparación de este producto, verdadero *guano mineral* o *sintético*, es primera materia el nitrógeno: y como la destilación fraccionada del aire líquido puede suministrarlo en mejores condiciones económicas y de pureza, que el resultante de fijar el oxígeno por procedimientos químicos, pareció indicada la sustitución; mas ¿qué podía hacerse del oxígeno que en tan grandes cantidades habría de producirse, operando sobre toneladas considerables? He aquí las conexiones antes aludidas: si las dos industrias electroquímicas, cianamida-cálcica y ácido nítrico, se instalan próximas o en el mismo local, los dos gases procedentes del fraccionamiento del aire encuentran aplicación y del trabajo mancomunado de ambas industrias, resulta absorbido nitrógeno atmosférico en condiciones más ventajosas, que si cada una aspira a vivir de su propia savia. Las dos industrias, pues, lejos de ser rivales y desarrollarse en constante competencia, dado lo fundamental de fin, deben establecer simbiosis por demandarlo así los intereses sociales y las humanas conveniencias.

Mientras el procedimiento Birkeland-Eyde se modifica con tan provechosos resultados, nuevas tentativas originan el ensayo y establecimiento de grupos industriales donde, poniendo a contribución ingeniosas disposiciones, se pretende o consigue quemar nitrógeno atmosférico alcanzando rendimientos más elevados. Así, la *Badische anilin und Soda fabrick*, de Ludwigshafen, construyó en Christianssand—Noruega—, una gran fábrica utilizando los estudios de Brunck, completados por Schönbein y Hessberger. Constan los hornos, en su parte fundamental, de un largo tubo de hierro abierto por la parte superior que funciona como electrodo; el arco voltáico se establece, aproximando al fondo del tubo el otro electrodo, que es de cobre o hierro perfectamente aislado y provisto como el anterior de un mecanismo de refrigeración por medio de agua corriente. Si en estas

condiciones se lanza por la parte inferior y según la dirección de la tangente, una corriente de aire, asciende por el tubo en movimiento helicoidal y de torbellino, la llama del arco se alarga y eleva siguiendo la masa gaseosa hasta llenar todo el tubo, y el óxido nítrico se produce en proporción que no baja del 2 por 100.

El horno puede construirse de material refractario, si en su interior se dispone un hilo metálico en forma especial, para sostener inflamado continuamente el arco. En todo caso, éste adquiere estabilidad y constancia superiores a las que presenta en el procedimiento Birkeland, siempre sometido a vibraciones rapidísimas.

En la instalación de prueba y con hornos dispuestos para una potencia de 600 a 1.000 H. P., con tensiones de 4.000 a 4.500 voltios, se obtuvieron arcos luminosos de 7 m. de longitud con corrientes de aire de 1.100 m.³ por hora. La intensidad de la corriente gaseosa, regula la extensión del arco.

La *Salpetersaure Industrie Gesellschaft*, instaló por la misma época en Patsch—Austria—el procedimiento Pauling, fundado en el empleo de potentes arcos de electrodos curvos y divergentes situados en el mismo plano vertical, que mediante insuflación de aire, permiten obtener llamas en forma de abanico, de un metro de longitud. Los gases a la salida de los hornos contienen 1,5 por 100 de óxido nítrico.

Cada arco consume unos 400 Kw., constando la fábrica de 24 alimentados por un salto de 15.000 H. P.

Procedimientos de Hæusser y Bender.—Más modernos que los electroquímicos, ambos tienen el mismo fundamento: formación de óxido nítrico a elevadas temperaturas. Hæusser utiliza gas del alumbrado o procedente de hornos de cok, produciendo *combustión explosiva*; Bender, gases emanados de ciertos terrenos, procediendo por *combustión progresiva*. Como se ve, el agente que determina la reacción en estos procedimientos, no

difiere del puesto en juego con la llama eléctrica; es el calor. Si la temperatura producida en la combustión es suficiente, nitrógeno y oxígeno se combinan en cantidad variable y proporcional al grado conseguido.

De Saussure demostró a final del siglo XVIII (1), que en toda combustión completa verificada en presencia de nitrógeno, una pequeña parte de éste se transforma en compuesto oxigenado. Bunsen en sus brillantes trabajos de Eudiometría, confirmó repetidas veces las observaciones de De Saussure, llegando a efectuar determinaciones cuantitativas. Más tarde, y generalizado el uso de la *bomba calorimétrica* se ha visto que, si el oxígeno utilizado tiene nitrógeno o es nitrogenada la substancia sometida a combustión, aparece óxido nítrico en cantidad dosificable.

La primera fábrica montada como ensayo bajo la dirección de Hæusser, con subvención de la *Deutsche Stickstoff Industrie Gesellschaft*, funcionó en Nüremberg en el año 1910. Conseguía grado eficiente de temperatura, detonando gas del alumbrado con exceso de aire o con aire y un volumen de oxígeno igual a un tercio del de gas, teniendo la mezcla a presión no superior a cinco atmósferas y dentro de un régimen de tiempo entre las sucesivas detonaciones. Para evitar la descomposición del bióxido de nitrógeno durante el enfriamiento, se acelera éste expandiéndolo con brusquedad los gases, una vez conseguido el final del período de reacción. Los rendimientos que se consiguen operando con aire sólo o reforzado con oxígeno, pueden apreciarse en el siguiente resumen, que comprende resultados medios y da idea de la composición de la mezcla gaseosa:

Gas del alumbrado.	38,80 m. ³	} Concentración de vapores nitrosos evaluada en ac. ^o -nítrico por m. ³ de gas, a la salida, 9,80 gr.
Aire.....	340,00	

(1) Un hecho es digno de notarse: por la misma época Cavendish conoció la combinación de los gases del aire bajo la influencia de la chispa eléctrica. ¿Cómo pudieron pensar tan ilustres sabios, que transcurrido más de un siglo habían de encontrar fundamento en sus observaciones, industrias de tanto porvenir y provecho?

Gas del alumbrado.	40,00 m. ³	} Concentración de vapores nitrosos eva- luada en ac. ^o nítrico por m. ³ de gas, a la salida, 15,50 gr.
Aire.....	128,00	
Oxígeno.....	13,30	

La expansión de los gases al salir de la bomba, se verifica en un serpentín de aluminio rodeado de agua fría (1), donde los vapores nitrosos actuando con la procedente de la combustión, forman los ácidos nitroso y nítrico que se recogen en estado de disolución diluída.

El procedimiento Hœüsser se instaló después de manera definitiva en Westfalia, utilizando diariamente 6.000 m³ de gases combustibles con poder calorífico de 4120 calorías, procedentes de fábricas de cok. Rendía 170 gramos por metro cúbico de gas purificado, o sea, más de una tonelada diaria de ácido nítrico, y como según cálculos del propio Hœüsser, Alemania en 1912 producía en sus hornos de cok 240 millones de metros cúbicos de gas, podrían obtenerse al año más de 40.000 Tm. de ácido, que sobradamente representan 60.000 de nitrato cálcico.

Siguiendo el procedimiento Bender, se produce ácido nítrico quemando bajo presión en mecheros del tipo Bunsen, gases combustibles naturales descubiertos en Transylvania los años 1909 y siguientes (2). Demostrada en fábrica de ensayo la bondad de su técnica, en 1912-13 se construía una de mayor amplitud para quemar hasta 200.000 m³ diarios, volumen concedido provisionalmente por el Gobierno austriaco a la sociedad explotadora. Con tal cantidad, y suponiendo igual rendimiento al que determinan los gases utilizados por Hœüsser, se puede

(1) Es el único metal ordinario que resiste durante mucho tiempo —varios años— el ataque de las disoluciones nítricas diluídas.

En las fábricas de Noruega, también se utiliza ese metal para construir los refrigerantes por donde circulan los gases procedentes de los hornos Birkeland: primero pasan por generadores de vapor, donde se enfrían hasta 250 ó 300° y antes de llegar a las torres de absorción, atraviesan los citados refrigerantes; en ellos la temperatura desciende a 50°.

(2) Están constituidos por metano en proporción del 99 por 100, con pequeñas cantidades de oxígeno, hidrógeno y nitrógeno.

calcular una producción superior a 12.000 Tm. de ácido nítrico por año.

El procedimiento Bender parece sólo aplicable en los *campos de gases* y con la limitación impuesta por la duración de los manantiales.

III

Fijación al estado de producto amoniacal

Comprende este grupo, procedimientos que suministran amoniaco directamente—Haber—y otros que absorben nitrógeno en forma de combinación fácil de transformar en el expresado gas—Franck-Caro y Serpeck—. Se excluyen todos los medios ideados para aprovechar el nitrógeno contenido en la hulla, porque con tales prácticas, no se fija nitrógeno de la atmósfera; se utiliza tan sólo parte del que fué empeñado en combinación por mecanismo biológico en épocas pretéritas y no caben dentro del plan de este trabajo.

Procedimiento de Haber.—Bajo la influencia de chispas eléctricas, hidrógeno y nitrógeno se combinan formando amoniaco, con desprendimiento de 12.2 cal.^s por molécula—17,034 gr.—; mas como el amoniaco es a su vez descompuesto por la chispa, las reacciones conducen a un equilibrio químico análogo al que se presenta en el sistema oxígeno, nitrógeno y óxido nítrico. La combinación de hidrógeno y nitrógeno también se lograría elevando la temperatura, pero el grado de calor necesario alcanza tal cifra, que la cantidad de amoniaco persistente en el equilibrio es nula prácticamente, trabajando a presión ordinaria y excluido todo cuerpo extraño a gases reaccionantes y resultado de su unión.

Teniendo en cuenta el calor de combinación y los calores específicos de los tres gases constituyentes del sistema, se calcula

que a 1020°, en la mezcla formada por un volumen de nitrógeno y tres de hidrógeno, existiría en el equilibrio 0,012 por 100 de amoniaco, y como a esa temperatura apenas si el nitrógeno comienza a sacudir su inercia, se necesitó estudiar los factores susceptibles de modificar el equilibrio, desplazándolo en sentido conveniente. El efecto fué logrado con tanta fortuna por Haber, Van Oordt y Le Rossignol, que el método se hizo industrial en manos de la Sociedad, *Badische Anilin und Soda Fabrik* y montada la primera fábrica cerca de Ludwigshafen en 1912-13, resolviendo al propio tiempo otras cuestiones complementarias no menos importantes y decisivas.

Los catalizadores obvian, como en otros muchos casos, las dificultades para conseguir la unión de hidrógeno y nitrógeno, reduciendo la temperatura en grado considerable. Como sustancias modificadoras se han recomendado el hierro, wolframio, molibdeno y alguno de sus compuestos, osmio y carburo de urano, encontrando Haber en los dos últimos cuerpos agentes preciosos que funcionan ya a 500°; pero como a esta temperatura el rendimiento es muy escaso y las citadas materias no están exentas de inconvenientes, atendiendo a otro orden de consideraciones, se pensó en desplazar el equilibrio con la presión, que conduce, como en todos los de su clase, a transformaciones más avanzadas, es decir, a producción más elevada.

Con el carburo de urano funcionando a 550° y presión de 175 atmósferas, logró Haber en experimentos de laboratorio efectuados en 1910, rendimientos de amoniaco evaluados en el 8 por 100, demostrando así la posibilidad práctica de llegar a su síntesis; sin embargo, hasta conseguir la implantación industrial, fué necesario vencer dificultades referentes al catalizador, trabajo a grandes presiones y suministro de hidrógeno en cantidad y estado de pureza que la buena marcha de la reacción exige.

El osmio por su costo, es metal poco apropiado para preparar productos de bajo precio como el amoniaco, y con la constante competencia emanada de su cualidad de sub-producto o materia

secundaria de industria tan extendida como la destilación de la hulla. El carburo de urano, más asequible, presenta el serio inconveniente de actuar con el agua, transformándose en óxido que el hidrógeno no reduce después; y como se ha demostrado que los gases constituyentes del amoniaco, perfectamente secos, no se combinan aun en presencia del catalizador (1), la oxidación será inevitable, y segura como consecuencia inmediata la desaparición de su propiedad excitatriz (2).

Según parece, la *Badische* resolvió el problema, logrando al mismo tiempo disminuir mucho la presión, empleando hierro como elemento catalizador, que si cierto es se trata de metal oxidable, no lo es menos la facilidad con que los óxidos se reducen por el hidrógeno; mas no por eso aparecen eliminados todos los inconvenientes. El procedimiento empleado por la expresada Sociedad para preparar hidrógeno, consiste en separarle por liquefacción fraccionada del llamado *gas de agua*, mezcla equimolecular de hidrógeno y óxido de carbono que se obtiene haciendo actuar vapor de agua sobre carbón a temperatura no menor de 950 ó 1000° (3); pero como la separación no es tan perfecta que se logre pureza de productos y el óxido de carbono al rojo y mejor en presencia del hierro, produce anhídrido carbónico y carbono (4), puede éste combinarse con el catalizador—es notoria la afinidad entre hierro y carbono—o

(1) La presencia de agua en pequeñas cantidades parece necesaria. Otras muchas reacciones no se verifican sin su intervención y se le atribuye papel de catalizador.

(2) Actuando con agua el carburo de urano— $U_2 C_2$ —produce metano, etileno e hidrógeno, con formación de óxido.

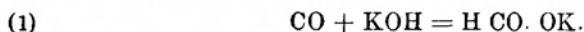
(3) El óxido de carbono se liquida mucho antes que el hidrógeno, como se deduce comparando las constantes críticas que a continuación se indican.

	Temp. ^a crítica	Presión crítica
Hidrógeno.....	—242°	15 atmósferas
Oxido de carbono.....	—139°,5	35,5

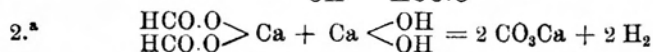
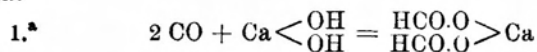


recubrirle, si no admitimos tal combinación, y en un caso por efecto químico y en otro por mecánico, o sumándose ambas causas como es lo probable, la acción catalizadora desaparecerá en curso más o menos rápido. Parece en consecuencia indicada después del fraccionamiento o separación física, una segunda maniobra de naturaleza química que tienda a eliminar las últimas porciones de óxido de carbono. Se propuso a tal efecto, entre otros medios, la reacción que sirvió a Berthelot para sintetizar ácido fórmico (1), es decir, contacto con potasa activado por una fuerte presión para invertir poco tiempo; pero quizás resulte más ventajoso el hidrato cálcico propuesto por Merz y Weith, porque el óxido de carbono es reemplazado por su volumen de hidrógeno (2).

Procedimiento de Franck-Caro.—De 1903 data la industria de la *cianamida cálcica* o *cal nitrogenada*, compuesto correspondiente en estado de pureza a la fórmula CN_2Ca (3). Las suertes comerciales tienen el mismo valor fertilizante que el sulfato amónico, o el 90 por 100 del nitrato sódico y pueden emplearse directamente como abono, salvando los casos de contraindicación impuestos por la naturaleza de los terrenos, grado de humedad y estado de la vegetación (4). Puede utili-



reacción que es posible se cumpla en dos fases: formación de formiato cálcico en la primera y acción sobre éste de nueva molécula de cal, en la segunda:



(3) Es la cianamida $\text{N} \equiv \text{C-NH}_2$ derivada del cianato amónico por pérdida de agua, en la que pueden considerarse sustituidos los dos átomos de hidrógeno por uno de calcio.

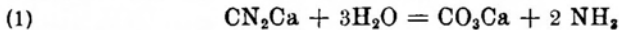
(4) En tierras ricas en humus, arenosas o turbosas, los resultados no son satisfactorios, y en general, lo mismo ocurre con las muy húmedas. Conviene perfectamente a los terrenos calizos y arcillosos, pero la distribución y mezcla con la tierra debe hacerse 12 ó 15 días antes de proceder

zarse también el nitrógeno que encierran, transformándolo en amoníaco por el vapor de agua a presión (1).

El procedimiento Franck-Caro se adoptó primero en Italia, no tardando en extenderse por diversa naciones de Europa, Japón y Estados Unidos de América, existiendo en 1914 proyectos para aprovechar en Islandia grandes fuerzas hidráulicas con el mismo fin (2). Se trata en realidad de industria bastante conocida, pero precisa exponer sus fundamentos para conservar el plan que venimos desarrollando y por demandarlo así relaciones ya aludidas con otros métodos de fijación, de más desarrollo y seguro porvenir, aunque siempre susceptibles de perfeccionamientos técnicos por incorporación de determinados complementos.

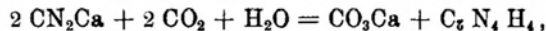
a la siembra, para evitar la acción nociva que pudiera determinar en la germinación y vegetales jóvenes, sobre todo en épocas de calor y sequía.

No es recomendable el empleo simultáneo con los superfosfatos, práctica muy frecuente al distribuir los abonos nitrogenados, porque se retrograda parte del ácido fosfórico soluble.



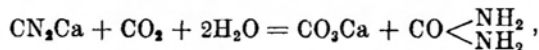
En la tierra, si bien con más lentitud, puede considerarse para los efectos finales verificada la misma reacción: el amoníaco que resulta, con la intervención de bacterias nitrificantes, se convierte en nitratos que las plantas absorben.

En realidad el proceso de transformación es más complejo y varias reacciones son posibles. Actuando calcio-cianamida en frío, con anhídrido carbónico y agua, se forma carbonato cálcico y *dicianamida*



según demostraron Immerdor, Ulpiani, Fassetti, etc. La dicianamida es fermentescible y no venenosa para los vegetales. A temperatura superior a la ordinaria se obtiene carbonato y *cianamida*, que no fermenta y es tóxica.

Posteriormente Ulpiani demostró, que en el terreno, la cianamida cálcica se transforma primero en urea por acción catalizadora de ciertos coloides.



cuerpo que por vía microbiana pasa a carbonato amónico y nitratos, en último término.

A la urea puede llegarse también, pasando por la dicianamida.



En los trabajos que sirvieron de base para fundar la *Scottish Cyanid C.*, exclusivamente dedicada a la preparación industrial de cianuros, reconocieron Franck y Caro la aptitud del carburo de bario para absorber nitrógeno por la influencia del calor, demostrándose tres años después que en la reacción se forma primero bario-cianamida, con indicios de cianuro y que el carburo de calcio se presta con ventajas a transformación equivalente (1). La cantidad de nitrógeno fijado por este procedimiento indirecto, es superior a la conseguida en la formación de nitratos, si se toma para comparar, la unidad de energía empleada en la fabricación del carburo de calcio. Así, mientras un Kw-año puede combinar de 280 a 400 kg. de nitrógeno atmosférico al estado de cianamida, el horno Birkeland no conduce a más de 111 a 134 kg. de nitrógeno nítrico.

Descartado el rendimiento y la remuneración que representa disponiendo de hulla blanca en buena marcha, consideraciones de otra índole impusieron la difusión inmediata del procedimiento Franck-Caro: la necesidad de descongestionar las propias fábricas de carburo, muy numerosas y con potencia superior a las necesidades del mercado. El acetileno como agente de iluminación no triunfó sobre sus rivales, gas y electricidad, las aplicaciones quedaron limitadas y el consumo de carburo reducido en consecuencia.

La preparación de cianamida cálcica es fácil. El carburo de calcio en conveniente estado de división, es introducido en tambores de tierra refractaria atravesados según el eje por cilindros de carbón, que llevados al rojo vivo por una fuerte corriente eléctrica, calientan la masa circundante hasta ponerla en condiciones de reaccionar. Si en este momento—conseguidos 1.000 ó 1.100°—se hace penetrar en el horno una corriente de nitrógeno, la absorción comienza en el acto y en virtud del

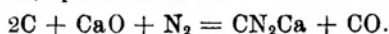
(1) Un kg. puede absorber hasta 414,5 gr. de nitrógeno, o sea, aproximadamente, el 95 por 100 del teórico.

calor que se produce, toda la masa de carburo se calienta progresivamente y fija nitrógeno hasta la saturación (1).

Descargados los hornos, se presenta la cianamida formando masas compactas que contienen exceso de cal procedente del carburo (2), y parte de éste que escapa a la acción del nitrógeno. Como el carburo comprometería la conservación del producto, aparte otros inconvenientes, resulta ventajoso un tratamiento por agua para eliminarlo: la materia seca y pulverizada, constituye la *cianamida descarburada* comercial (3).

(1) Con carburo de calcio puro, la reacción no se verifica. El industrial es siempre impuro y las materias extrañas actúan de catalizadores.

Para obtener calcio-cianamida, no es necesaria la preparación previa del carburo: basta pasar una corriente de nitrógeno por mezclas de cal viva y carbón vegetal, operando a 1200°.



Los resultados varían, sin embargo, con el procedimiento seguido: en el directo—Siemens-Kalske y Erlwein—se obtiene un producto bruto que sólo encierra 10 a 15 por 100 de nitrógeno; en cambio partiendo del carburo, se alcanzan riquezas del 20 al 22 por 100.

(2) Una muestra de cianamida analizada por Erlwein, dió el siguiente resultado:

Cianamida cálcica pura.. .. .	57
Cal.....	21
Carbón.....	14
Sílice.....	2,5
Óxido de hierro.....	1
Carbonato cálcico, azufre, fósforo..	1
Materias no dosificadas.....	3,5
	100,0

Aeby expresa el análisis de otra muestra, en esta forma:

Cianamida cálcica.....	57,5
Cal.....	19
Grafito.....	10,5
Óxidos de manganeso, hierro, etc..	7
Humedad, carburo.....	5
Materias no dosificadas.....	1
	100,0

(3) Una materia similar, es la llamada *nitrógeno cálcico* que desde 1906 se prepara en Westeregel, cerca de Magdeburgo, por la *Sociedad de abonos nitrogenados*, siguiendo el procedimiento propuesto por Polze-niusz. Consiste en adicionar al carburo de calcio que ha de exponerse a

El nitrógeno que esta industria necesita, conviene llegue al horno limpio de oxígeno para evitar desgaste en los cilindros de carbón. Se extraía en un principio por procedimientos químicos (1) no exentos de dificultades en grandes producciones, pero la destilación fraccionada del aire líquido resolvió el problema de manera tan económica como elegante, permitiendo al propio tiempo expansiones notables en la producción. Las fábricas instaladas en las Cataratas del Niágara, con potencia para elaborar 24.000 Tm. en 1912, habrán terminado su transformación que permitirá llegar a las 200.000. Y si como es de suponer la fusión de estas fábricas con las electroquímicas de ácido nítrico se logra, con notables ventajas para ambas, según consignamos en otro lugar, la industria fundada por Franck-Caro adquirirá desarrollo preponderante, y, aparte las aplicaciones directas a la Agricultura, puede ser la cianamida cálcica manantial de

la acción del nitrógeno, 10 por 100 aproximadamente de su peso de cloruro cálcico: la fijación se efectúa en estas condiciones a más baja temperatura—a 700°—que en la fabricación ordinaria. La composición del material obtenido oscila alrededor de las siguientes cifras:

Nitrógeno.....	20
Calcio.....	45
Carbón.....	19,5
Cloro.....	6,5
Materias sin dosificar.....	9
	100,0

Posee las mismas propiedades que la cianamida ordinaria, pero en las aplicaciones agrícolas no parece conveniente la presencia del cloro.

Algunos investigadores intentaron reemplazar el cloruro de calcio por el fluoruro: la materia resultante no es tan higroscópica como la preparada con el primero, mas las pequeñas cantidades de ácido fluorhídrico que produce, perjudica al personal obrero y deteriora con rapidez los aparatos y envases destinados a contener el producto fabricado.

El carbonato potásico se ha ensayado también como catalizador, empleando un 4 por 100 del peso de carburo: la fijación se verifica entre 800 y 900°, y sobre todo trabajando a presión. La presencia del material alcalino, que aparece íntegro al final, avalora las propiedades del nitrógeno cálcico como abono, dado el papel que los compuestos potásicos juegan en las prácticas agrícolas.

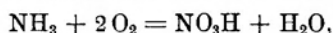
(1) Absorbiendo el oxígeno del aire por cobre al rojo.

amoníaco y sus derivados salinos. Además, no debe olvidarse, que una mayor demanda de nitrógeno nítrico por necesidades transitorias o permanentes, puede satisfacerse en buenas condiciones disponiendo de amoníaco, ya que de manera práctica se transforma en ácido nítrico, gracias al procedimiento biológico de Müntz y Lainé y al catalítico de Ostwald, que convirtió el bonito experimento de la *lámpara filosófica*—en otros tiempos mostrado por el profesor a sus alumnos como cosa curiosa y sin consecuencias—en gran operación industrial que irradia luz de progreso y beneficios incalculables (1).

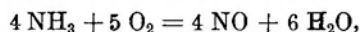
Procedimiento de Serpeck.—Es el primero ascendido a categoría de industrial entre los ideados a base de preparar *nitruros*

(1) El fundamento de esta transformación, conocida en principio quizás por los alquimistas y estudiada por Kuhlmann en mezclas de aire y amoníaco, fué objeto de minuciosa investigación por parte del ilustre sabio alemán Ostwald, consiguiendo fijar las condiciones de trabajo con tanta fortuna, que el procedimiento fué adoptado por la *Gesellschaft der Steinkohlenbergwerks Lothringen*, produciendo al año más 2200 Tm. de ácido nítrico con densidad 1,36-1,37. Después se montó en Bélgica una instalación destinada a fabricar nitrato de amonio, oxidando una parte del amoníaco procedente de la cianamida.

Observó Ostwald que, la proporción de nítrico aumenta si la esponja de platino utilizada como catalizador se calienta a 300°, y la mezcla gaseosa permanece poco tiempo en su contacto, para evitar la descomposición de los óxidos de nitrógeno formados. Se llega a este resultado, haciendo pasar los gases a velocidad suficiente para no prolongar el contacto más de $\frac{1}{100}$ de segundo, por un tubo que la esponja de platino obtura en un espesor de 2 cm.: cumplido el requisito, la transformación del amoníaco en ácido nítrico es efectiva con un rendimiento medio del 85 por 100. De hecho, como el ácido no es estable a la temperatura de reacción, se forma óxido nítrico, que pasa a peróxido con el exceso de oxígeno: el cambio pues, que antes se formulaba



debe escribirse



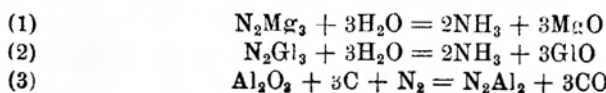
y en consecuencia, al salir los gases del tubo de catalización, se presenta el mismo problema que en las síntesis electroquímicas o por combustión, con las variantes impuestas en este caso por la mayor riqueza de nitrógeno oxidado.

metaloídicos o *metálicos*, que el agua transforma en amoniaco y óxido. Boro, silicio, litio, magnesio, glucinio, aluminio, etc., gozan de esta propiedad, concurriendo además la favorable circunstancia de ser aptos para entrar en fábrica los óxidos originados, aligerando así las cargas que gravitan sobre el producto nitrogenado comercial.

Beck propuso, dirigir nitrógeno sobre liga magnesio-estaño, que directamente obtenía por electrolisis de la *carnalita* magnesizada o magnesizada, empleando cátodo líquido de estaño: este metal no se altera, pero el magnesio forma nitruro que el vapor de agua descompone con facilidad (1). Matignon, recordando analogías, llega al nitruro de glucinio o berilio, dirigiendo nitrógeno sobre glucina en presencia del carbón: dado el escaso peso atómico del metal, resulta un producto muy rico en nitrógeno, pero la glucina es materia cara y si bien se regenera al producirse amoniaco (2), hay como en toda operación análoga un coeficiente de pérdida que no es posible evitar. Por esta causa, el ingenio del expresado y competentísimo químico francés, le condujo a utilizar el *berilo*—silicato de aluminio y glucinio—que encierra tres óxidos susceptibles de fijar nitrógeno en presencia del carbón.

Serpek utiliza nitruro de aluminio, que obtiene dirigiendo nitrógeno sobre mezclas de alúmina y carbón (3). El procedimiento es de porvenir grandísimo por hallarse íntimamente ligado con la producción de aluminio, que si en el presente alcanza respetables cifras, no transcurrirán muchos años sin contarse por cientos, los miles de toneladas, a juzgar por la marcha de la demanda, siempre activa y creciente.

La reacción del Dr. Serpeck, de Viena, puede ser utilizada como *productora de amoniaco*, regenerándose alúmina que vuelve a entrar en fábrica; o bien *como medio para preparar alúmina*



destinada a la extracción del metal, constituyendo el amoniaco, en este caso, producto secundario. El nitruro de aluminio tiene también empleo directo como abono nitrogenado en gran número de casos, ya que, bajo la influencia del agua y oxígeno del aire, se transforma en el suelo produciendo alúmina y nitratos.

El nuevo método, de excepcional interés para Francia que posee ricos yacimientos de *bauxita* (1), fué adoptado después de vencer ciertas dificultades de carácter técnico, por la *Sociedad francesa de Nitruros*, hallándose proyectada la construcción de varias fábricas en 1913. Veamos las más importantes particularidades a él referentes:

El nitruro de aluminio se forma directamente y con desprendimiento de calor (2), previa calefacción del metal en atmósfera

(1) Hidrato imperfecto de aluminio correspondiente a la fórmula $Al_2O_5H_4$, con varias impurezas.

(2) Matignon apoyándose en algunos datos experimentales y guiado por consideraciones fisico-químicas, calculó los calores de formación de los nitruros de silicio y aluminio, encontrándolos respectivamente iguales a 80 y 110 cal.^a por molécula de nitrógeno combinado—28,02 gr. Para el de magnesio había encontrado 119 cal.^a y Güntz 111,2 en el de calcio.

Entre los diversos experimentos que pueden efectuarse para demostrar la combinación de nitrógeno y aluminio, poniendo al mismo tiempo de manifiesto la gran cantidad de calor desarrollado, es recomendable la siguiente manera de proceder, que permite trabajar con grandes y pequeñas masas:

Una mezcla de aluminio en polvo con 3 ó 4 por 100 de negro de humo, que aumenta la porosidad, se introduce en un crisol, disponiendo un tubo de carbón que llegue hasta el plano inferior. Se calienta el crisol sólo por el fondo y cuando la temperatura es suficiente, se envía por el tubo una corriente de nitrógeno: la reacción comienza y se propaga poco a poco de abajo arriba, haciéndose ostensible por la incandescencia del crisol que revela en su interior temperatura de 2000° ó más. Después del enfriamiento, se encuentra una masa de cristales azulados, muy brillantes, de nitruro de aluminio.

Operando con aire, el aluminio en masa se combina difícilmente: según Kohn-Abrest, a 610°, temperatura que llama *singular*, la fijación es nula a los 10 minutos y en todo caso se inicia después. De 900 a 1100° la absorción es rápida. La presencia de oxígeno es perjudicial y en su contacto, el nitruro sostenido al rojo, se transforma lentamente en óxido con desprendimiento de nitrógeno. Trabajando en atmósferas de nitrógeno puro, la temperatura óptima es de 900°.

de nitrógeno, hasta alcanzar temperatura apropiada; mas se comprende que el método directo, no es aplicable a la industria. También se consigue nitruro, actuando nitrógeno sobre carburo de aluminio (1); pero indudablemente la reacción ternaria de Serpeck utilizando bauxita como primera materia, sin preocuparse del hierro que la impurifica, es la más práctica.

El calor de formación del sexquioxido de aluminio no baja de 375 a 380 cal.^s y como el liberado en la formación del nitruro se calcula en 110, aunque al calor suministrado por éste, se agreguen 74,4 cal.^s que representa la formación de tres moléculas de óxido de carbono, la compensación no llega a establecerse. La reacción Serpeck en conjunto es, pues, de entonación energética negativa por coeficiente que no andará lejos de 200 cal.^s, y necesita para producirse intervención de energía extraña; pero como los cuerpos que en ella se expresan son de estabilidad reconocida y soportan elevadísimas temperaturas sin descomponerse (2), la transformación se cumple con auxilio del calor que, coloca a las sustancias en condiciones de actuar y suministra la energía necesaria.

Según el Dr. Serpeck, a 1500° la reacción se pone en marcha, pero no es práctica hasta los 1800° o más, temperaturas que hacen ya inevitable la calefacción eléctrica. El coeficiente de gasto no es tan elevado como pudiera suponerse, porque se puede aprovechar gran parte del calor de combustión del óxido

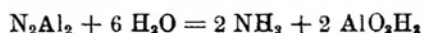
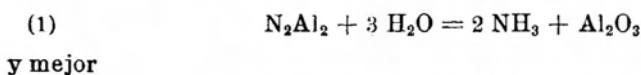
(1) Constituye el método de Fichter que conduce a un nitruro cristalizado, cuyos dos tercios, actuando con el agua hirviendo a presión, se descomponen formando amoniaco.

Otro procedimiento, ideado también por Fichter, consiste en hacer actuar nitrógeno sobre bronce de aluminio: el nitruro obtenido es muy puro y produce amoniaco con más facilidad.

(2) El nitruro de aluminio resiste temperaturas de 2000° sin fundir y no conduce la electricidad en esas condiciones. Se utiliza para revestir las paredes interiores de los propios hornos donde se fabrica, e igualmente puede servir en los destinados a otras industrias, siempre que haya compatibilidad con la marcha de las reacciones y naturaleza química del medio; se ha dicho en su lugar que, al rojo, es alterado con bastante rapidez por el oxígeno.

de carbono—204,6 cal.^s para las tres moléculas originadas—; además, la reacción puede ser catalizada haciéndose práctica a temperaturas inferiores, operando en presencia de hidrógeno o hierro y mejor de ambos elementos actuando simultáneamente, que determinan acción aceleratriz superior a la suma de los dos efectos considerados por separado. Mezclas de alúmina y carbón calentadas a 1.500° durante una hora, en corriente de nitrógeno con algunas centésimas de hidrógeno, suministran productos con 12,85 por 100 de nitrógeno, como término medio; las mismas mezclas con pequeñas cantidades de hierro, excluido hidrógeno, pero conservadas las demás condiciones, fijan 7,7 por 100, en tanto que, superponiendo la acción activante de hierro e hidrógeno, se obtiene a la misma temperatura y en el mismo tiempo, una fijación de nitrógeno que asciende al 27,07 por 100. La bauxita es siempre ferruginosa y por consiguiente, calentada con carbón y mejor en presencia del hidrógeno, ella misma proporciona el hierro catalizador.

El nitruro de aluminio hervido con lejías de sosa de 20-21° B.^e—D = 1,165 —, es atacado con facilidad, produciendo torrentes de amoníaco e hidróxido de aluminio que pasa al estado de aluminato (1). Separando de éste la alúmina por contacto con pequeñas cantidades de la obtenida en anterior operación, queda de nuevo el alcalino líquido en el justo grado de riqueza para repetir el ataque sobre nueva porción de nitruro. Las impurezas ferruginosas de la bauxita, transformadas en hierro metálico en el momento de la nitruración, aparecen después del ataque por la lejía en estado de residuos densos, fáciles de separar: se obtiene así alúmina sin hierro, que puede tratarse deshidratada de antemano en los hornos eléctricos productores de aluminio, con un gasto igual aproximadamente, a la mitad



del que origina el procedimiento Bayer, tan usado en la industria del *metal de la arcilla* (1).

Transformado en sulfato el amoniaco producido siguiendo el método Serpeck, se obtienen más de dos toneladas de producto por cada una de aluminio, ventaja que, sumada a la reducción de gastos antes aludida, determinará la implantación del novísimo método en toda localidad donde concurren circunstancias favorables, y, al intensificarse la producción de aluminio con mayores garantías para el capital al efecto destinado, nuevo ingreso de nitrógeno substraído a la atmósfera, reforzará las existencias destinadas a sostener la fecundidad de las tierras laborables.

Montado el procedimiento Serpeck sólo como productor de amoniaco, la descomposición del nitruro de aluminio es más

(1) Entre los distintos procedimientos conocidos para purificar bauxita, transformándola en sexquióxido que sume las condiciones exigidas en la obtención de aluminio, el ideado por Bayer fué aceptado con rara unanimidad, por reunir ventajas manifiestas sobre los usados hasta su aparición. Para que pueda compararse con el constituido a base de la reacción Serpeck, damos una idea de la marcha del tratamiento.

Pulverizada la bauxita hasta que pasa por tamiz de 6 mm., se calienta en horno especial para destruir materias orgánicas y deshidratar el hidrato férrico que la acompaña, procurando no alcanzar aquellas temperaturas que convierten la alúmina en materia refractaria a la acción de la sosa cáustica. El producto calcinado, se pulveriza más finamente y pasado por tamiz de 144 mallas por cm^2 , se trata en caldera de hierro por lejía de sosa al 41 por 100— $D=1,45$ —, bajo presión de cinco atmósferas determinada por vapor de agua, para formar aluminato soluble. La masa resultante diluida hasta conseguir densidad igual 1,23—20,5 por 100 de sosa—, se pasa por filtros-prensas primero y por cajas dispuestas con celulosa después, llevando el líquido claro a cilindros de palastro, donde se sostiene en agitación con pequeña cantidad de hidrato aluminico procedente de operaciones anteriores, para precipitar la alúmina del aluminato. Separada en filtros-prensas previa decantación y eliminada la mayor cantidad posible de agua por el aire comprimido, se calcina en cilindros rotativos recubiertos interiormente de magnesia, hasta alcanzar no menos de 1100° , para hacer imposible la hidratación espontánea del sexquióxido de aluminio.

En operación bien conducida, la riqueza del producto obtenido ha de superar al 98 por 100, ya que sólo se tolera hasta el 1 por 100 de agua; 0,1 de óxido férrico y 0,3 por 100 de sílice.

sencilla y por consiguiente más económica, porque no importa obtener alúmina pura; debe por el contrario conservar las impurezas, que asumen parte de la acción catalizadora, base de la industrialización del método.

* * *

Tales son, descritas a grandes rasgos, las adquisiciones que en la vitalísima cuestión del nitrógeno han conseguido la Biología y la Química durante 25 ó 30 años de asidua labor: los resultados son sorprendentes y las consecuencias incalculables. Si los infinitamente pequeños acompañan al nitrógeno en todo su ciclo evolutivo y con la misma facilidad que lo fijan y transforman en materia viva, disocian y simplifican los más complicados edificios moleculares hasta reintegrarle al aire, la Química descubre sus aptitudes y funda sobre ellas industrias de abonos sintéticos, aceleradores de esa perpetua mutación que se cumple en los organismos vivientes. ¡Lástima inspiraban los alquimistas aferrados en su quimera de transformar en plata y oro los metales comunes, y al fin, eran metales! ¡Admiración produce la Química moderna, cambiando los gases del aire en montones de materias que el comercio trueca en plata y oro! No era quimera lo que perseguían, no: sólo intento prematuro por equivocado camino. Las prácticas secretas de aquellos tiempos llevaban el embrión de la sublime Ciencia química y nacida ésta, desde las cúspides a donde se remonta, contempla a plena luz el vasto horizonte de su dominio, eligiendo paciente y serena, no el sendero recto que rápido conduce al oculto precipicio, sino la más larga vereda del trabajo que honra al hombre, le eleva a Dios y conduce al triunfo.

HE DICHO

BIBLIOGRAFIA

- G. André.**—*Chimie végétale.*
G. André.—*Chimie du sol.*
Berget.—*Les problèmes de l'Atmosphère.*
R. Biedermann.—*Chemiker-Kalender.*
Effront.—*Les Catalyseurs biochimiques dans la Vie et dans l'Industrie.*
H. Erdmann.—*Traité de Chimie minérale* (traducción del alemán por A. Corvisy).
J. Escard.—*La fabrication électrochimique de l'acide nitrique et des composés nitrés à l'aide des éléments de l'Air.*
Glikin.—*Biochemisches Taschenbuch.*
C. Granell.—*Los fermentos de la tierra.*
Houllevigne.—*La Matière sa vie et ses transformations.*
Kayser.—*Microbiologie agricole.*
Cossowicz.—*Agrikulturmykologie.*
Löhnis.—*Precis de Bacteriologie agricole et de Technique expérimentale* (traducción del alemán por H. Kufferrath).
P. Mazé.—*Evolution du Carbone et de l'Azote dans le monde vivant.*
Molinari.—*Química general aplicada a la Industria* (traducción del italiano por J. Estalella).
Eug. Prost.—*Cours de Métallurgie des métaux autres que le Fer.*
Tobianski.—*L'industrie de l'Azote atmosphérique.*
H. Vigneron.—*Electrochimie et électrométallurgie.*
Anales de la Universidad de Zaragoza.
Boletín del Instituto de Radiactividad.
Boletín de la Real Sociedad española de Historia natural.
Chemiker-Zeitung.
Centralblatt für Bakteriologie II Abteilung.
Gazzetta chimica italiana.
Revue générale de chimie pure et appliquée.
Revue scientifique.