

Duplicado

1743 - leg. 23

DISCURSO

LEÍDO EN LA

UNIVERSIDAD CENTRAL

EN LA SOLEMNE INAUGURACIÓN

DEL CURSO ACADÉMICO DE 1892 Á 1893

POR EL DOCTOR

D. LAUREANO CALDERÓN Y ARANA

Catedrático

DE LA FACULTAD DE FARMACIA

— x —

MADRID

IMPRENTA COLONIAL, Á CARGO DE G. GUTIÉRREZ
Glorieta de Atocha, 8

—
1892

UVA. BHSC. LEG 23-1 n°1743

DISCURSO
LEÍDO EN LA
UNIVERSIDAD CENTRAL
en la solemne inauguración
DEL CURSO ACADÉMICO DE 1892 A 1893

DISCURSO

LEÍDO EN LA

UNIVERSIDAD CENTRAL

EN LA SOLEMNE INAUGURACIÓN

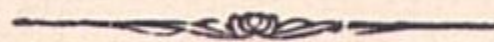
DEL CURSO ACADÉMICO DE 1892 Á 1893

POR EL DOCTOR

D. LAUREANO CALDERÓN Y ARANA

Catedrático

DE LA FACULTAD DE FARMACIA



MADRID

IMPRENTA COLONIAL, Á CARGO DE G. GUTIÉRREZ

Glorieta de Atocha, 8

—
1892

HTCA

U/Bc LEG 23-1 n°1743



1>0 0 0 0 6 3 1 7 6 1

UVA. BHSC. LEG 23-1 n°1743

UNIVERSIDAD

UNIVERSIDAD CENTRAL

UNIVERSIDAD CENTRAL

UNIVERSIDAD CENTRAL

UNIVERSIDAD CENTRAL

**La química descriptiva
y
la química racional.**

Ilmo. Señor:

Una vez más abre la Universidad sus puertas para inaugurar el año académico. Una vez más acuden y se congregan maestros y discípulos dispuestos á colaborar en la obra común. Una vez más con rítmica regularidad, y como corresponde á fieles guardadores de la ley, prepáranse todos á cumplir las prescripciones reglamentarias.

Justo y lejítimo es, en verdad, el homenaje que tributamos hoy á la tradición universitaria, por tantos títulos respetable. Lícito y plausible es, ciertamente, sentir el ánimo regocijado al considerar cómo, por la propia virtud de su función educadora, puede la Universidad, como institución, resistir las conmociones que amenazan transformar el organismo social; pero no menos justo ni lejítimo, no menos lícito ni plausible es el deseo, que á todos debe unirnos, de rendir culto al espíritu crítico é indagador de nuestro tiempo, á la creciente cultura que por todas partes se difunde, fecunda en manifestaciones de una vida intelectual sobre la cual no ejercen influjo las disposiciones oficiales ni los exclusivismos de escuela.

Celebremos, pues, hoy la fiesta universitaria: proclamemos en buen hora el derecho con el cual aspiramos á representar el organismo docente como encarnación viva de un fin del Estado; pero, al propio tiempo, dirigiendo nuestras miradas

más allá de este recinto, reconociéndonos todos miembros de una sociedad, parte á su vez de la familia humana, solicitemos del medio social el concurso inexcusable sin el que la vida universitaria degeneraría en ascetismo intelectual abstracto é idealista.

Si es innegable que los principios más abstractos de la ciencia traspasan los ámbitos de la cátedra, trascienden de la Universidad, encarnan en la vida social y la modifican, ya lenta y gradualmente, ya animados de la violencia revolucionaria, no es menos cierto que la vida común plantea diariamente innumerables problemas que la ciencia constituída recoge para resolverlos unas veces, para rectificarlos otras y en no pocas ocasiones para rectificarse ella misma.

Manifestación es esta del carácter esencialmente orgánico de la vida moderna, en la cual la idea y el hecho propenden á concertarse con un sentido cada vez más real, brotando en cada instante de su concierto nuevo objeto de nueva indagación.

Autónoma y libre esta última, producto de la ciencia secularizada de nuestro tiempo las más veces, cuando no de la intuición genial y espontánea, desprovista de ideas, clasificaciones y sistemas preconcebidos, muévase febril, inquieta, crédula y escéptica juntamente, apasionada á veces, indisciplinada siempre, pero siempre también vivificadora para inocular en los sistemas clásicos y á despecho de sus ortodoxias los nuevos gérmenes de renovación y progreso.

No descansa ni reposa; que si el libro y la revista sirven para consignar la teoría y lanzarla, aún no bien esbozada, á los vientos de la publicidad, la vida material se halla dispuesta á recoger ansiosa todo lo que tienda á mejorar la condición del hombre, y aun cuando la ciencia constituída no otorgue su aquiescencia á semejantes empresas, fuera vano empeño reducir su alcance y desconocer su inagotable fecundidad.

Y he aquí cómo la función de las instituciones docentes se

vivifica y se penetra de la savia social, apartándose de aquella mística adoración del simbolismo formalista de otras edades. He aquí cómo la ciencia contemporánea, menos pagada de las fórmulas de otros tiempos, presta oído atento á las manifestaciones del pensamiento común, si siempre inferior por lo que atañe al orden y encadenamiento lógico de las ideas, admirable á veces por lo maravilloso de sus prematuras intuiciones.

No es ya dable, como lo fué en otros tiempos, cultivar la ciencia con un profundo desprecio de las reverberaciones de la idea universal, cuyas fuentes brotan seguramente de la realidad de las cosas y se hallan, por tanto, colocadas en alturas donde no puede secarlas el influjo de la vanidad subjetiva; antes, por el contrario, la ciencia recoge ansiosa esa verdadera fulguración de la aurora de las nuevas ideas que la conciencia popular vislumbra y formula después como interrogaciones terminantes propuestas al pensamiento científico.

¡Y cosa por extremo admirable! Cada juicio formulado aforísticamente por el sentido común, cada crítica espontánea é irreflexiva sin razón suficiente aceptada, han sido siempre precursores de una renovación en aquellas esferas del pensamiento que más á cubierto hubieran podido creerse de los atrevimientos colectivos de las muchedumbres.

Proclamó el pensamiento universal que la Ciencia de la Idea no era más que la mitad, á lo sumo, de la Ciencia del Ser y surgió la dirección actual del pensamiento filosófico, que, bajo múltiples formas, afirma la unidad absoluta de su objeto.

Consideróse á la Naturaleza como causa inagotable de infinitas manifestaciones, cuya única base de distinción estriba en lo limitado de nuestros sentidos, y desde entonces la teoría de la actividad natural quedó planteada y presentida, siquiera su expresión correcta solo haya sido posible con el transcurso de los tiempos.

Presintióse que el Estado no poseía mayor virtualidad que la del derecho en que se funda y la conciencia pública pudo, con sobrada razón, pensar en la necesidad de asentar el Estado mismo en principios superiores á los que supone un simbolismo transitorio ó una representación temporal.

Y si, apartándonos de las esferas ideales en las que más ó menos conscientemente todos los hombres colaboran, se consideran los maravillosos frutos que suministra la naturaleza, sin cesar interrogada con el fin de mejorar las condiciones de la vida material, no puede quedar duda alguna acerca del concurso importantísimo que prestan á la ciencia pura el incesante afán del obrero y el propósito especulador del industrial.

La actividad humana se desenvuelve en el taller y en la fábrica con una energía creciente de hora en hora, y de la cual no logrará siquiera formarse idea quien no haya penetrado en el secreto de los complejísimos problemas que la industria supone y plantea. Allí, en medio de incesantes fracasos, de esfuerzos inauditos y á veces de crueles desencantos, se obtienen, como productos de una investigación tan atrevida como laboriosa, resultados imprevistos, inconciliables muchas veces con lo que la ciencia recibe como verdades inconcusas y absolutamente ciertas. Ocioso sería entrar en mayores detalles acerca del asunto. Comprueban lo dicho un sinnúmero de descubrimientos interesantísimos, cuya posibilidad había sido temerariamente negada por sabios eminentes, pero aferrados con exceso al principio teórico dogmáticamente formulado. Sirvan solo de ejemplos el inyector Giffard y el fonógrafo, declarados imposibles por la ciencia misma, que ha encontrado más tarde razones tan eficaces para explicarlos, como lo fueron las antes empleadas para tenerlos por irrealizables.

No pretendo con lo dicho demostrar la inferioridad de la ciencia constituída, ni indicar siquiera que ésta deba subordi-

narse á los principios que caprichosamente establezca el conocimiento común, fruto siempre utilísimo del pensamiento humano. Mas lo que sí aparece evidente, sin que yo me esfuerce en demostrarlo, es que en el fondo de las teorías precientíficas existe siempre algo, un fondo de fecunda realidad, del cual se prescinde en ocasiones con grave daño de la verdad y de la ciencia.

Lo que sí comprueban los hechos es que las revoluciones científicas son engendradas no tan solo por las súbitas revelaciones de mundos desconocidos, sino también por la paciente acumulación y enlace orgánico de las intuiciones individuales.

Lo que resulta en suma es que si en algún tiempo pudo ser la ciencia labor misteriosa y sagrada de unos cuantos elegidos, es hoy obra humana, siempre perfectible, sometida á incesante crítica y destinada á constante transformación.

Quéjense en buen hora de esta perpétua movilidad de la ciencia actual aquellos espíritus penetrados de vanidad egoísta, para los cuales la conservación de su prestigio es más atendible que el reconocimiento de la verdad; pero acojamos los demás con regocijo estas inequívocas señales del universal interés que despiertan los fines humanos santificados por el concurso impersonal y anónimo de aquéllos que los sirven sin otro estímulo que la satisfacción de los impulsos de la conciencia racional.

Si por estos senderos se ha llegado al nivel actual de la ciencia contemporánea, débese más al sentido orgánico que á su formación preside que á lo variado y preciso de sus datos; más al descrédito en que han caído los sistemas exclusivos y abstractos, que á la superioridad, incontestable por otra parte, de los nuevos métodos de indagación.

Pruébalo bien claramente el especialismo moderno, si cada vez más propenso á circunscribir los problemas que plantea, cada vez también más dispuesto á considerarlos en toda la

complejidad de sus relaciones, y á resolverlos con la ordenada aplicación de los métodos más variados.

Pruébalo también el que aquellos exclusivismos, aquellas rivalidades añejas entre diversos órdenes de conocimientos, tienden á desaparecer. Cada pensador reconoce que una ciencia, cualquiera que ella sea, no considera sino un aspecto de las cosas y que solo con el concurso de todas podrá aspirar al conocimiento completo del objeto mismo que estudia.

Hasta qué punto este sentido es fructífero y sobre todo conforme á la realidad de las cosas, fuera ocioso mostrarlo, que hartó lo patentiza el hecho de que esa haya sido una aspiración ideal de todos los tiempos.

Comprobar la exactitud de estas aseveraciones en todas las esferas de la Ciencia, empresa es que demanda otros límites que los que en este momento tengo impuestos. Poner de relieve hasta qué punto lo dicho se confirma en una ciencia particular, que, por virtud de las influencias señaladas, se transforma, se ordena y se eleva de la categoría de doctrina experimental á la de ciencia racional, cuestión es más circunscripta, y que, por el interés que en mí despierta, me propongo considerar brevemente, refiriendo mis observaciones á aquella ciencia particular que ha sido objeto preferente de mis estudios; á la Química.

I

En aquel primer momento de la cultura en que la satisfacción de las necesidades materiales constituye el principal, si no el único objetivo de la actividad humana, estimase como lo primero aquello que más directa é inmediatamente sirve para mejorar las condiciones de la vida.

Característica es esta de estados de pensamiento inferiores, que de no serlo, el fin del conocimiento en sí y sus diversas relaciones de más elevada índole, y aún el sentimiento estético del plan orgánico de toda ciencia, no pudieran quedar á segundo término relegadas. Y fuerza es reconocerlo; achaque es este que aún en nuestro tiempo padecen muchos de los que cultivan las ciencias de la Naturaleza, dispuestos á negar el valor efectivo de todo orden de conocimientos que no se traduzca inmediatamente en aplicaciones útiles.

No criticar, sino condenar, anatematizar este sentido, tén-golo por obra meritoria en todas ocasiones, pero muy señaladamente desde este sitio y en este momento, propicios más que cualesquiera otros para proclamar que la ciencia pura debiera ser ante todo y acaso exclusivamente el fin de la Universidad. Quien, aspirando al dictado de científico, no vea en la aritmética otra cosa que el modo de ajustar cuentas; en la

geometría el de trazar las líneas de un edificio; en la mecánica el de construir máquinas; en la química el de obtener metales ó preparar tintes y medicamentos, en el derecho el arte de sostener un recurso y en la geología las reglas para buscar los yacimientos metálicos, ese podrá ser un hombre estimable, útil á sus semejantes, beneficioso para la sociedad en que vive, digno de todo género de recompensas; pero no es, ni podrá llamarse, un científico.

¡Hecho singular! Semejante error lleva aparejado su propio castigo. En la incesante transformación de la vida y en la síntesis que inconscientemente se realiza de las ideas que aisladas brotan de la mente humana, sucede con sobrada frecuencia, que lo que ayer era abstruso, teórico, utópico, caprichoso, fantástico, se transforma súbitamente en efectivo, real, práctico, razonable, seguro y útil.

Ahí está la Historia para mostrarlo y ahí están las maravillosas aplicaciones que hacemos diariamente de cosas juzgadas antes por los hombres prácticos como infructuosos devaneos de cerebros teorizantes.

No me esforzaré en demostrar mi aserto; que tal y tan considerable es el número de argumentos invocados en su favor, de tal vulgaridad es el repetirlos, que consumiría en ello, sin provecho, todo el tiempo de que dispongo. Impórtame, sin embargo, señalar un extremo por demás adecuado para confirmar mi tesis.

La evolución en la química de ciertas ideas cuya trascendencia examinaré después, evolución que ha podido designarse con los dictados de ciencia teórica, de encerado, de bufete, abstrusa y sobre todo inútil é inaplicable, esa misma evolución precisamente sin quitarle tilde, sino llevándola á sus últimas consecuencias, ha dado como frutos, entre otros que apuntaré más tarde, ha dado digo, cientos de fábricas, miles de obreros y millones de numerario que existen, viven y circulan movidos por la industria de las materias colorantes,

exclusiva, total, completa y absolutamente fundada en lo que se tiene por inútil, abstruso, teórico é inaplicable.

El argumento posee un valor que no cabe discutir siquiera.

De un lado:

Ciencia teórica, abstracta, ideal, preñada de hipótesis; origen de prosperidades, de riquezas y de bienes.

Ciencia práctica y positiva, del otro; cuyos ópimos frutos reservan sus mantenedores en tan profundo misterio, que son hasta el presente de todos ignorados.

Señalo el paralelo y no pretendo apurar sus consecuencias.

He abrigado siempre la convicción de lo inútil de ciertas controversias. Para quien conoce el fundamento real, efectivo, histórico y lógico de las ideas, para aquél al cual el estado del pensamiento de su tiempo es cosa familiar, para quien recoge lo que los demás hombres siembran, la discusión es supérflua. Para el que ignora todo esto y cubre su pedantesca vanidad y su pretenciosa ignorancia con la impenetrable coraza de un desdén olímpico, la discusión es igualmente inútil por estéril.

Pedir que se rindan á la evidencia de las pruebas los que desconocen el valor de los términos del problema, ignoran la significación de los conceptos y son ajenos á los admirables trabajos experimentales que para obtener tales resultados han debido llevarse á cabo, valdría tanto como pedir á quien no conoce las operaciones elementales de la aritmética, que concediera significación práctica á las fórmulas de la trigonometría ó á las tablas de logaritmos.

No pretendo, pues, utilizar esta circunstancia para provocar una polémica que podría redundar en descrédito del nivel intelectual del país; pero si con lo apuntado queda manifiesta por modo indudable la prosperidad que alcanzan los pueblos para quienes la investigación ideal trasciende á la vida común, no será ocioso indicar que la vida común á su vez, por virtud de aquel concurso que presta á todo lo que en la

sociedad existe, ha suministrado á la ciencia pura materiales valiosos que, en la Química especialmente, han sido y son capítulos interesantísimos, igualmente fecundos para el ulterior desarrollo de la doctrina, y para la riqueza, engrandecimiento y prosperidad de los pueblos.

Esta doble corriente de la teoría á la aplicación y de la aplicación á la teoría; esta participación de tan diversos elementos en la elaboración del material científico; este enlace, de lo que pudiéramos llamar la razón teórica, con el motivo práctico, han servido para poner á prueba el sistema científico de la Química y para mostrar lo inconsistente, incompleto y sobre todo empírico de sus fundamentos; y como el reconocer la deficiencia de un sistema científico supone forzosamente el presentimiento de otro más perfecto y ordenado; y como semejante presentimiento tiene su origen en la exigencia, cada vez sentida con mayor fuerza, de buscar en toda proposición, en todo teorema, la legitimidad de los supuestos y premisas en que descansa, á la crítica demolidora ha sucedido el análisis reposado, como al hacinamiento prematuro de materiales inconexos sustituye el examen severo de los principios fundamentales.

Crítico es, ciertamente, el momento actual. Difícil es, si no imposible, condensar en breves páginas los numerosísimos trabajos de carácter trascendente que en la actualidad se llevan á término con el fin de introducir principios de otra índole en la ciencia química. Mas si la rápida reseña que me propongo hacer no cumple con el fin de enumerarlos y analizarlos todos, bastará, sin embargo, para poner de relieve cómo por virtud de la asociación orgánica de elementos, en apariencia extraños unos á otros, se realiza la más importante transformación que una ciencia puede experimentar, á saber: elevarse de la categoría de ciencia histórica á la de ciencia de razón. Y como acaso no registra la Historia del pensamiento un hecho parecido, y como este se debe á la acción

conjunta de las ideas y de las experiencias, á la lucha entre el dogmatismo clásico y el sentido común, al conflicto entre la ciencia tradicional y el espíritu renovador, he aquí porqué, aparte la predilección con la cual yo pueda mirar el asunto por razones de oficio, pienso que á algunos interesa, á muchos enseña y á todos nos afecta como todo lo que se produce en virtud del esfuerzo incesante de la razón humana.

II

Hace medio siglo tenía la química como único fin la descripción de las combinaciones y el estudio de los procedimientos adecuados para producirlas. El más alto objetivo científico consistía en realizar el análisis de los productos naturales ó artificiales, continuando así, aunque con sentido harto menos elevado, los trabajos que, con el fin de establecer las leyes de la combinación, habían ocupado la vida entera de Berzelius.

La preparación minuciosa de los compuestos de laboratorio, el estudio más ó menos perfecto de sus propiedades, formaban con el análisis de las sustancias naturales, el contenido entero de las obras de química, de las cuales podía decir con razón Gerhardt:

«Nuestros tratados actuales son más bien colecciones de recetas, de aparatos, de aplicaciones útiles; pero no se distingue en ellos la ciencia pura de la ciencia aplicada.»

La tradición clásica, que hasta la época de Berzelius impulsó á la Química por más elevados senderos, se había interrumpido. Y sin embargo, desde 1770 á 1842, Lavoisier en sus *«Memorias sobre el calor y la combustión,»* Rumford

en sus «*Ensayos*,» Federico Mohr en las «*Ideas sobre la naturaleza del calor*,» Dalton en el «*Nuevo sistema de filosofía química*,» Julio Roberto Mayer en las «*Fuerzas de la naturaleza inanimada*,» hacían aplicación teórico-experimental, acaso sin conocerlos, de aquellos admirables principios que los Huyghens, Bernouilli, Newton, Laplace, Poinsot y Lagrange, formularon en la mecánica, de los cuales había de brotar más tarde la teoría general de las fuerzas naturales.

Infecundos quedan para Berzelius aquellos primeros resplandores de una idea que había de iluminar con luz vivísima el estudio racional de las fuerzas moleculares. Consagrado el eminente químico al problema de establecer las leyes de las proporciones, orgulloso con exceso de su obra, por otra parte insustituible, acoge con marcada indiferencia, cuando no con manifiesta hostilidad, todo lo que á aquel problema no se refiera directamente.

Y así afirma que un «*ligero esfuerzo de lógica bastaría para destruir los razonamientos*» expuestos por Faraday acerca de la *acción fija electrolítica*, negándose, de esta suerte, á reconocer hechos, datos y experiencias cuya admirable verdad cada día es más patente, pero que se hallan en completa contradicción con la doctrina de Berzelius.

Las intuiciones maravillosas de Bertholet, que parece hablar en su *Estática química* el lenguaje novísimo, en las que tan evidente aparece la solidaridad del fenómeno químico y de los fenómenos físicos; los principios establecidos por Lavoisier y Laplace en 1783 y por Hess en 1840; las experiencias de estos sabios y las de Andrews, Graham, Abria, Person, Warrington, Regnault, Favre y Silbermann, fundadores de la termoquímica de nuestros días, son citadas con indiferencia, y acogidas con desvío, cuando no censuradas con destemplanza en aquellos «*Informes sobre los progresos de las ciencias*,» publicados y redactados por Berzelius como Secretario de la Academia de Ciencias de Stokolmo.

Y sin embargo; si al recorrer las obras de Lavoisier leemos que «*La descomposición de una combinación en sus elementos consume tanto calor como produce la unión de aquéllos;*» si consultando las memorias de Hess encontramos que «*el calor desprendido en una acción química es el mismo, ya se verifique la acción de una vez ó ya se produzca fraccionada en períodos diferentes,*» lamentaremos, ciertamente, que el sentido exclusivo de Berzelius le impidiera aceptar y consignar en su obra clásica dos principios que contienen en germen la renovación completa de la ciencia química.

Para Berzelius el problema único consistía en fijar las proporciones según las cuales se combinan los cuerpos, y para resolverlo realiza en su laboratorio el trabajo gigantesco que suponen miles de combinaciones preparadas y analizadas con una precisión incomparable en aquella época.

Mas por un fenómeno de los que frecuentemente ofrece la Historia de las ciencias, lo exterior, lo accesorio, lo minucioso de la obra de Berzelius encontró numerosos imitadores, desprovistos del elevado propósito y faltos de la idea fundamental que animara al modelo.

En tanto que para Berzelius preparaciones y análisis fueron *el medio* de buscar la ley de las proporciones, para muchos de sus imitadores, la preparación y el análisis fueron *el fin* exclusivo de la Ciencia química, reducida hoy todavía para algunos á este único y exclusivo objeto.

El carácter que, desde este momento, reviste la química, es el de una ciencia puramente descriptiva, más atenta á la consideración del pormenor que á la construcción de la teoría; más deseosa de encontrar aplicaciones, que de descubrir principios. Muestra palpable de este aserto es la violencia con que fueron combatidas las doctrinas de *Dumas*, de *Laurent* y de *Gerhardt*, más por juzgarlas atentatorias al *statu quo* entonces reinante, que por defecto y deficiencia de las doctrinas mismas.

El químico ocupa su tiempo en preparar lenta y laboriosamente las sustancias que han de servirle como reactivos, en formar sus colecciones todo lo más numerosas posibles, las cuales, cuidadosamente clasificadas y conservadas, sirven casi exclusivamente como medios de recordar las descripciones de los libros. Cada producto de laboratorio es estimado por su precio, por su belleza, por sus caractéres; y objeto de una veneración particular, no sirve, por lo general, sino al modo de las medallas en las colecciones numismáticas, para mostrar su forma ó su color. Entre la química y la zoología no existe, bajo este aspecto, en aquel período, diferencia alguna en cuanto al carácter descriptivo de ambas. Ni la hay tampoco por lo que atañe al valor concedido á los ejemplares de las colecciones, valor que aumenta con su escasez y rareza.

En este período la química se aleja y se divorcia cada vez más de la física, entendiendo que el análisis es el más alto fin de la ciencia y el más trascendental de sus tratados.

Ya, sin embargo, Dalton lo había dicho:

Análisis y síntesis químicas llegan tan solo á la separación y unión de las moléculas. Ni su creación, ni su destrucción, se hallan al alcance de los medios químicos (1).

Fourcroy, en 1806, consideraba el análisis químico no más que como un medio, como un procedimiento opuesto á la síntesis (2), y Thenard, en forma no menos explícita, estima, con profundo sentido, el análisis solo como el arte de descomponer los cuerpos (3) y la síntesis como el de recomponerlos.

En el medio siglo transcurrido desde la época de Berzelius hasta nuestros días, á pesar de los estimables trabajos de Rose, Plattner, Vauquelin, Laugier, Berthier, Ebelmen, Rivot, Will y tantos otros, trabajos fecundos en resultados por

(1) Dalton.—*New system*. T. I, p. 212.

(2) Fourcroy.—*Philosoph. chim.*, p. 10.

(3) Thenard.—*Traité de chim.* 6.^o, p. 1.

todo extremo interesantes, el principio fundamental del método analítico no ha experimentado cambios de importancia y muestra, aun en las obras didácticas más apreciadas, el divorcio que separa, por lo general, la química analítica de las reglas y principios en los que todo arte experimental debe apoyarse para ser riguroso y poseer una significación precisa.

Más aún: fuera de lo que es en realidad el análisis elemental de las sustancias, tanto minerales como orgánicas, el análisis inmediato, aquel que debe tener por objeto la separación de las especies químicas, se halla reducido á un corto número de principios y reglas que no tienen aplicación más que en muy limitados casos y casi exclusivamente á los cuerpos binarios de la química mineral.

Cualquiera persona que, habituada á las operaciones de la física, ó á las observaciones astronómicas, ó á las simples prácticas de la topografía, recorra las páginas de un tratado de análisis químico, quedará sorprendida al encontrar que las determinaciones analíticas más precisas de un solo elemento contienen en la mayor parte de los casos errores que no bajan de una décima y llegan con frecuencia á 5 décimas por 100.

Y sin embargo, el más torpe artesano medirá un metro con un error menor de un milímetro y pesará un kilogramo con un error inferior á un gramo.

El más primitivo instrumento de geodesia medirá un ángulo de 90° , con un error menor de una centésima, y el reloj más rudimentario no variará ciertamente medio minuto en cada hora.

¿Cómo explicar esta insuficiencia y tosquedad de los métodos analíticos propiamente químicos?

¿Cómo comprender que en tanto que los progresos de las ciencias experimentales han aumentado de modo inconcebible la precisión de sus resultados, sea tan grosera la aproximación que puede obtenerse por medio de los procedimientos

químicos en el análisis, estacionada desde hace medio siglo en cuanto al alcance de sus experiencias?

Varias razones hay para ello, que importa señalar, por las consecuencias que de su exposición resultan.

Es la una la imperfección con que se determinan los datos fundamentales, las constantes de las experiencias, no solo por la imperfección misma del procedimiento químico, sino por olvido de los más elementales principios de la Física.

Frecuente es ver á un analista consumado esforzándose en pesar 20 gramos de cloruro potásico, por ejemplo, con una exactitud de una décima de milígramo, suponiendo haber cumplido, con solo aquel trabajo, los preceptos de la más severa indagación científica. Y no sería pequeña su sorpresa si un alumno de física le hiciera observar que aquel peso es falso en 130 veces el límite de la precisión que ha creído obtener, tan solo por la pérdida de peso que introduce el aire desalojado por la sal, cuatro y media veces más ligera que el latón que compone las pesas.

Si á esto se agrega que por rara excepción, la balanza, el termómetro y los instrumentos de medida son estudiados por los químicos con la precisión debida; si se tiene presente que su empleo suele hacerse en condiciones que distan mucho de las que la crítica severa exige; ¿qué extraño es que apenas se pueda confiar en los datos que acerca de las sustancias químicas se hallan consignados en las obras, indicados además con una vaguedad que revela á las claras su falta de rigor?

Prueba patente es de ello el que algunos valores que han de servir como constantes en la indagación hayan dado, como acontece con el peso atómico del oro, cifras que han oscilado entre 104.4 y 238.2, engendrando así un error cuyo término medio es de 15.4 unidades, ó sea 8 por 100 del valor investigado (1)

(1) G. Krüss.—*Liebigs Ann.* 238, p. 30.—1888.

Y es esto tan cierto, que L. Meyer consigna que los pesos atómicos de muchas, por no decir de casi todas las substancias simples halladas en diversos tiempos y por diferentes sabios, *han dado muy diversos valores* (1). Si, pues, *las constantes* de la experiencia química ofrecen semejante grado de inseguridad, si los procedimientos no se aplican con la precisión necesaria ¿qué mucho que los resultados queden muy por debajo de los que toda otra arte experimental puede obtener?

¿Quiere esto decir que no quepa alcanzar una exactitud incomparablemente superior?

Categórica respuesta ofrecen los clásicos trabajos de Stass en la determinación de los equivalentes químicos, las recientes determinaciones de puntos de fusión verificadas por Landolt, los análisis de las mezclas gaseosas ejecutados por Bunsen, los complejísimos procesos de separación empleados por Lecoq de Boisbaudran, Nilson, Marignac, Delafontaine, Cleve y Winkler para aislar los elementos recientemente descubiertos, los estudios de Mylius y Foerster sobre la alterabilidad del vidrio por los reactivos químicos, y tantos otros que pudieran citarse, dejando á un lado, por el momento, los innumerables que constituyen el material inmenso de la química del carbono.

El rigor en la investigación, la severa exigencia científica, no son por lo común las condiciones que dominan en la química analítica usual.

El hecho tiene sencilla explicación si se atiende á que el análisis químico reviste generalmente un carácter más industrial que científico, y propende más á satisfacer las necesidades de la tecnología, de la higiene ó de la medicina, que á esclarecer los problemas que á cada momento surgen en la Ciencia pura.

Prueba de ello es la falta absoluta de un tratado de *proce-*

(1) L. Meyer.—*Modernen Theorien* p. 19.

dimiento analítico donde se discutan las causas de error, los métodos generales aplicables al problema del análisis, considerado en su amplio sentido, sin excluir, por de contado, los compuestos orgánicos hasta ahora sistemáticamente considerados en parte tan solo por Dragendorff y por Allen.

La pereza, por decirlo así, de la química analítica para abordar el problema científico, en muchos casos, es manifiesta.

Pruébalo el que las afirmaciones de Cooke sobre el carácter variable de las proporciones químicas (1); las experiencias de Schutzenberger sobre las discordancias que se hallan en la combustión de ciertos petróleos y en la síntesis del agua, con la ley de las proporciones definidas (2), las hipótesis de Boutlerow (3) para explicar tales contradicciones y aun las conjeturas de Mendelejeff (4) sobre la posible transformación de la masa en energía química, no han hallado eco, ni han sido criticadas, ni á ellas se ha dado solución, ni respuesta alguna. Ningún medio se ha propuesto para evitar el que un error de una décima por 100 en el análisis de un carburo de hidrógeno permita dar como posibles igualmente varias fórmulas empíricas del mismo cuerpo.

Y en otro orden de estudios, puede citarse el hecho de que las observaciones de Berzelius acerca de la impureza de las materias precipitadas en el seno de un líquido complejo y las mismas de Longchamp (5) sobre la dificultad de obtener materias puras por doble descomposición en el seno de disoluciones salinas, no han conducido á buscar procedimientos que eviten estas tan conocidas causas de error de los análisis químicos.

(1) Cooke.—*American Journ. of Science*, XXVI, p. 310.

(2) Schutzenb.—*Bull. Soc. Chim.*, 37, p. 3. 39, p. 258.

(3) Boutlerow.—*Bull. Soc. Chim.*, 39, p. 263.

(4) Mendelejeff.—*Bull. Soc. Chim.*, 39, p. 264, nota.

(5) Longchamp.—*Ann. de Chim. et de Phys.*—3.^a—XXII, p. 155.

La imperfección del procedimiento analítico se muestra aún más cuando se trata de resolver el problema de la agrupación de los elementos en una mezcla de varias combinaciones.

Una mezcla en proporciones equimoleculares de dos sales sometida al análisis, dará datos seguros en cuanto á la proporción de ácidos y bases que existan en la mezcla, pero en cuanto á la agrupación de aquellos ácidos y bases, el análisis permanecerá mudo é ineficaz. Más aún; el análisis será incapaz de resolver el problema tal como en realidad se ofrece, pues que la mezcla de dos sales disueltas constituye un sistema en el cual existen real y efectivamente cuatro sales, en cantidad que el análisis ni valua, ni puede valuar con los medios actuales. Y mucho menos podría resolver la cuestión en el caso de una disolución más compleja, pues que, como la teoría lo enseña, el número de combinaciones existente en aquella disolución es igual al cuadrado del número de sales que hayamos disuelto.

La ciencia moderna procura sustituir los imperfectos métodos del análisis propiamente químico con otros que salven estos escollos é imperfecciones y, como debía forzosamente suceder, todos ellos se fundan en principios y leyes físicas.

El análisis polarimétrico introducido ha largo tiempo en la química por Biot y admirablemente perfeccionado por Landolt; el análisis óptico que tan interesantes resultados ha dado en manos de Gladstone, Dale, Schrauff, y recientemente de Bruhl; el análisis espectral cuantitativo inventado por Vierordt y mejorado por los hermanos Kruss; los métodos colorimétricos de Günsberg y Wolff, y por último, los procedimientos de análisis microquímico debidos á Haushofer, Smith, Behrens, Lehmann, así como las múltiples aplicaciones químicas que la pila ha recibido desde Luckow, son una prueba de nuestro aserto, si ya no la hubieran dado los

métodos volumétricos inventados por Gay-Lussac y elevados á la categoría de una técnica completa por F. Mohr.

El análisis químico ha respondido durante muchos años y aún responde en los tratados clásicos, más bien á las necesidades del ensayador que á las del científico (1). Representaba, y aún para muchos sigue representando, el estado de progreso que correspondía á los ideales de las industrias metalúrgicas de hace medio siglo. La industria misma hoy declara los métodos analíticos clásicos insuficientes y emplea para sus ensayos un sinnúmero de métodos incomparablemente más perfectos, más concluyentes en sus afirmaciones, y de una sensibilidad mucho mayor que los métodos químicos.

El espectroscopio en la industria del acero, los absorciómetros en la del gas, los difusiómetros y polarímetros en la del azúcar, los colorímetros, densímetros y termómetros de precisión comunmente empleados, confirman lo dicho sin género alguno de duda.

Tan felices aplicaciones de los métodos físicos exigen en el químico una cultura incomparablemente superior á la que era suficiente veinte años ha. Demandan conocimientos teóricos no superficiales de física y de matemáticas y hacen indispensable que el químico pierda el respeto supersticioso que solían inspirarle las ecuaciones de primer grado ó las líneas trigonométricas.

Exigen que rompa aquel aislamiento en que ha vivido tantos años y piense que en otras ciencias puede hallar soluciones precisas de problemas insolubles con el exclusivo empleo de la experimentación química. Un cristal de un milímetro de lado permite identificar una substancia con la misma precisión que el mejor análisis; mas para que la

(1) Ejemplo de esto es el tratado de análisis químico del Dr. Fresenius, cuyo autor está reputado con justicia como una autoridad en materia de ensayos industriales, y cuyo laboratorio es considerado como la mejor escuela de contramaestres de industrias químicas.

observación de los cristales sea útil, menester es que quien la practique conozca en todos sus detalles la técnica cristalográfica, fundada en los principios de la óptica física y de la geometría.

La determinación de un índice de refracción sirve para fijar en una mezcla la proporción en que se hallan cuerpos que por ningún medio químico pueden ser completamente separados. Pero el practicar con fruto aquella determinación exige que el operador conozca con todo detalle las causas de error, las circunstancias en que el método es aplicable y adecuado para suministrar resultados rigurosos.

Semejantes procedimientos no han tenido cabida en la experimentación química hasta épocas muy recientes, y hubiera, sin duda, continuado la tradición berzeliana que asigna al análisis químico un valor tan exagerado, á no haberse producido un cambio profundo en la dirección de las teorías químicas, cambio en el cual, la ciencia pura y la industria se ayudan, se completan y se perfeccionan mutuamente en grado verdaderamente admirable.

Si la química teórica se enriquece en un período de treinta años con la teoría de los radicales de Liebig, corregida más tarde en la concepción de los residuos de Gerhardt y en la hipótesis de los núcleos de Laurent; si á la teoría de la atomicidad de los elementos agrega Kékule, en 1865, la de la constitución de las sustancias llamadas aromáticas y en 1866 la de la isomería de las mismas, tan admirablemente confirmada tres años más tarde por R. V. de Richter, la industria no permanece ociosa y recoge fruto envidiable de las doctrinas que tantos anatemas y destempladas críticas habían inspirado á Berzelius.

La anilina descubierta por Runge en el alquitrán de hulla, sintetizada más tarde por Zinin, da á Perkin el color malva, y desde este momento el azul de Lyon de Girard y de Laire, el violado y el verde de Hofmann, el negro de anilina de

Lightfoot, los colores azóicos de Griess y Caro, la alizarina de Graebe, los colores de O. Fischer, la síntesis del añil de Bayer constituyen los jalones, no más que los jalones, en que se apoyan innumerables descubrimientos verificados la mayor parte en el laboratorio del industrial, descubrimientos que no son otra cosa que la confirmación más perfecta, más completa, más acabada de aquellos puntos de vista tenidos por abstrusos, extravagantes, y sobre todo, por teóricos y de bufete.

¡Teóricos! tal es el juicio que algunos formulan acerca de estas concepciones, sobre las cuales se fundan explotaciones industriales que asombran al mundo.

Desde este momento, una doble corriente se establece entre la fábrica y el laboratorio del científico. La industria pide métodos para variar sus productos, para mejorarlos y para hacer ventajosa su explotación. La química teórica los busca, los inventa, estudia la constitución del compuesto empíricamente hallado y da la teoría de la operación industrial.

La química pura descubre la combinación; la industria solicita el descubrimiento utilizable y remunera ampliamente la invención aplicable.

Y como precisamente las materias colorantes no son, según ya antes dije, sino resultados de la aplicación industrial de las teorías recientes sobre la constitución de los compuestos de carbono, y estos, salvo un corto número, no existen formados en la naturaleza, menester fué apelar á la síntesis para formarlos, y de un golpe y como por encanto, la síntesis orgánica iniciada por Liebig y Wöhler y convertida en una ciencia por Berthelot, pasó de la categoría de problema de teoría abstracta á la de procedimiento industrial y práctico.

Desde hace treinta años los métodos de síntesis en la química orgánica y en la química mineral han permitido producir innumerables compuestos de todos órdenes de complicación, de funciones químicas diversísimas, dotados de las propieda-

des más interesantes y susceptibles de todo género de aplicaciones.

Desde los alcaloides á las materias tintóreas, desde las grasas hasta las rocas, desde los azúcares hasta las piedras preciosas, la síntesis ha caminado en toda Europa consiguiendo valiosas conquistas científicas é innumerables aplicaciones industriales. Los tratados de Berthelot, Lellmann, Alexejeff respecto de la síntesis orgánica y los trabajos de Daubrée Friedel, Fouqué, Michel Levy, Margothet y otros sobre la síntesis mineral, son una prueba evidente de la importancia de este asunto, desconocido aún ¡tristeza causa decirlo! en nuestras Universidades, no dispuestas para enseñar á los doctores, lo que los estudiantes de química practican en otros países en el segundo año de aprendizaje.

Consignemos este hecho, muestra patente de nuestra inferioridad intelectual con relación á otros países, como Portugal, Rumania, Servia, Turquía, el Japón y algunas de las repúblicas hispano-americanas, donde se producen ó se han producido trabajos sintéticos de importancia, y volvamos á nuestro asunto. Si grande es el progreso que representa la aplicación del método sintético por las innumerables combinaciones que mediante ella han sido obtenidas ó previstas, no menor progreso significan ciertamente los principios de carácter teórico que, como resultado de aquella aplicación, pueden establecerse.

Fruto estos principios de la observación empírica, revistieron un tiempo el carácter limitado propio de la inducción experimental; enlazados hoy con otros de carácter absoluto ofrecen la garantía necesaria para servir de punto de partida en el estudio de la mecánica molecular.

Muestran, de un lado, la influencia que el tiempo, la presión, la temperatura, la luz, el estado de división y la estabilidad, ejercen en la producción de las reacciones sintéticas.

Enseñan, de otro, que la síntesis de una combinación es posible tan solo, á condición de que los elementos que la forman se hallen en circunstancias adecuadas para que su enlace mútuo se produzca, según la ley teórica que de antemano nos proponemos cumplir.

Basta una ligera reflexión para comprender la trascendencia de estas dos ideas á todo el sentido de la química actual.

Enseña la primera, que á determinadas condiciones corresponden determinados grupos de sistemas moleculares posibles: y por tanto, invirtiendo los términos, que estas condiciones son suficientes para hacer que determinadas combinaciones se produzcan ó degen de producirse.

La segunda, manifiesta que el análisis no resuelve la mayor parte de los problemas que ofrecé la constitución química de los cuerpos, condicionada además por virtud de circunstancias que tocan al enlace y disposición interior de los elementos que los constituyen.

Ninguna explicación podría dar el análisis químico de la homología, de la isomería y de la polimería, ni sus datos permitirían formular siquiera hipótesis útiles para explicar la identidad de propiedades físicas, químicas y aún fisiológicas que poseen combinaciones formadas por diversos residuos unidos á un *grupo funcional* determinado.

El simple dato analítico nunca dará razón de la comunidad de metamorfosis, desdoblamientos y propiedades que poseen sustancias de composición diversa.

El problema, insoluble por este camino, puede resolverse por otro que, si á primera vista parece menos positivo que el primero, se apoya, sin embargo, en los innumerables datos que la experiencia cotidiana suministra.

Aquella teoría tan admirablemente desenvuelta en 1837 por Liebig y Wöhler, acerca de la existencia de cuerpos compuestos, aptos para transportarse inalterables de una

combinación á otra, para funcionar como simples, en una palabra; la teoría de los radicales compuestos, para decirlo de una vez, ha sido el gérmen de la doctrina actual de las funciones químicas y constituye la base sobre la cual descansa la solución del problema antes planteado.

Si, conforme la teoría establece, el mismo radical es susceptible de presentar propiedades diversas y aptitudes peculiares, según la naturaleza de determinados grupos con los cuales puede combinarse; si, de otra parte, estos son capaces de imprimir propiedades comunes á diferentes radicales, lícito es concluir de aquí, que el conjunto de metamorfosis que denominamos función química, pende de la naturaleza de aquellos determinados grupos que se designan por esto con el nombre expresivo de *grupos funcionales*.

Y como la experiencia permite mostrar que estos grupos funcionales pueden ser transportados de una combinación á otra sin que sufran cambio alguno, y aun cambiar completamente de propiedades la combinación en que existen, en virtud de un fenómeno de isomería, concluimos con gran probabilidad, que no la naturaleza y proporción de los elementos exclusivamente, sino su peculiar disposición, es el problema capital que ofrece el estudio de las combinaciones impropriamente llamadas orgánicas.

No es del caso dilucidar, por medio de una disquisición histórico-crítica, los elementos diversos que han ido perfeccionando la teoría primitiva. Sería injusto, sin embargo, omitir los nombres de Laurent y Gerhardt al lado de los de Liebig y Wöhler, cada vez que se trata de esta fundamental teoría, en la cual han venido á incrustarse la idea de los núcleos y de las sustituciones del primero, la teoría de los residuos y el sistema unitario del segundo.

De tales doctrinas resulta, pues, patente la insuficiencia del análisis para decidir acerca de la constitución de los compuestos químicos, y esta insuficiencia queda no menos

palpablemente demostrada con los innumerables ejemplos que ofrece la investigación experimental.

Si cuerpos que poseen idénticos elementos en las mismas proporciones unidos muestran propiedades y caracteres diversos, menester es atribuir este hecho tan singular como interesante, á otra causa que á la composición que el análisis nos revela. Y de aquí, como hipótesis lógicamente establecida, el que se busque en la *diferente posición* de los elementos en el compuesto la causa de esa diferencia de propiedades que ofrecen. Así interpretó Berzelius, en 1830, las isomerías observadas por Wöhler en 1828 en el ácido ciánico y sus compuestos y así se creó la teoría de la isomería de posición á la cual han aportado materiales de primer orden Kékule, Kolbe, Boutlerow, Beilstein, Wurtz, Friedel, y en los tiempos modernos Van t'Hoff, Lebel, Wislicenus, Bäyer y tantos otros.

Y como la síntesis química dirigida por las hipótesis antes citadas confirma en cada momento la exactitud de las mismas; como esta afirmación acrece cada año con miles y miles de problemas tan pronto planteados como resueltos, resulta de todo que al estudio de los compuestos químicos verificado desde el punto de vista del análisis, ha sucedido el de sus aptitudes dinámicas, el de las fuerzas que los condicionan, el de la organización de sus elementos integrantes.

Desde este momento, un dinamismo más ó menos explícito invade la química y comienza á encaminarla por los senderos que actualmente recorre la física. El atomismo estático que antes imperaba, queda vencido de hecho y se hace, por tanto, indispensable determinar nuevos principios que caractericen las combinaciones químicas.

Si al mecánico le es dable producir un efecto infinitamente variable con un número dado de fuerzas determinadas tan solo por virtud de su posición y de la magnitud de sus coeficientes angulares,—y este es hecho que la experiencia confirma á cada paso,—lejítimo es concluir que, análogamente,

el peculiar enlace que mantiene unidos entre sí los elementos que constituyen una combinación química, determinará el carácter y las propiedades de esta.

Así se explicará el que las propiedades peculiares de una combinación, lo que podríamos llamar su resultante, pueda variar sin que varíen los elementos que la constituyen. De esta suerte al sentido estático sustituye el principio dinámico y á la afirmación empírica del resultado experimental la inducción teórica, de más altos vuelos y de mayor alcance para el sistema general de la ciencia de la Naturaleza.

Desde este instante, no solo la exigencia rigurosa, sino el pensamiento común, demandan imperiosamente explicación del hecho, y las hipótesis que surgen, las teorías que se exponen, constituyen un primer bosquejo de una ciencia que en breve se hallará á la misma distancia de la química descriptiva que la que separa la mecánica racional de la teoría de las máquinas.

Tan admirable resultado no es la obra exclusiva de nuestro siglo; que si por un momento contemplamos la evolución continua que las ideas han experimentado en la química, veremos dibujarse análogas aspiraciones en las tradiciones caldeas, en las concepciones metafísicas de los Vedas, en los misterios de Isis, en los sistemas filosóficos de la Grecia y en las nebulosas teorías de los alquimistas de la Edad Media. La razón humana ha sentido siempre que deben existir principios generales que coordinen la variedad infinita de las cosas y aspira á conocerlos irresistiblemente solicitada por su propia naturaleza; mas lo que en otros tiempos fué genial presentimiento ó producto de una fantasía poética, aparece hoy como el fruto de la asociación sistemática de leyes confirmadas.

Menguar la importancia del dato experimental, negar su influjo en la formación y aun en la confirmación del principio teórico, es absurdo é injustificado. Pero afirmar que el dato experimental de por sí basta para formar la ley y el sistema

del conocimiento, es desconocer el límite infranqueable que separa el hecho de la idea.

Estudiar el enlace de la inducción racional con la construcción deductiva y la conformidad de ambas en todo sistema científico que se acerca á su perfección, es el medio único de apreciar con entera imparcialidad lo valioso del pormenor y lo fecundo de la teoría.

Señalar este enlace por lo que á la química se refiere, tal como resulta de las corrientes contemporáneas, es el asunto que voy á considerar ahora brevemente.

III

Dos principios rigen y dominan la ciencia moderna de la Naturaleza. El principio de la conservación de la materia y el principio de la conservación de la energía.

Si la historia del pensamiento humano puede someterse á una división en períodos, ningún acontecimiento debe con más títulos servir de punto de partida á una nueva era que el que señala la proclamación de aquellas dos leyes, acaso las más generales que hasta el presente ha descubierto la razón.

Determinar el momento en el que son presentadas, reseñar las diversas formas, más ó menos explícitas, que revisten, aquilatarlas y estimarlas debidamente, valdría tanto como hacer la historia del pensamiento; empresa superior á todo esfuerzo individual.

Cabe, sin embargo, á nuestro tiempo la gloria inmarcesible de haberlas formulado y de haber descubierto innumerables relaciones que por su intermedio se establecen entre teorías desprovistas antes de enlace y de unidad.

El teorema de Stevino, la doctrina de Galileo sobre la relación inmutable entre las velocidades y los tiempos, entre los espacios recorridos y las masas movidas por una fuerza en la unidad de tiempo, el péndulo de Huyghens, la teoría

de la *vis viva* de Leibnitz, son los primeros precedentes sobre los cuales fundan más tarde Juan Bernouilli el principio de las velocidades virtuales y Newton sus tres axiomas, base firmísima de la mecánica racional. Acaso en el principio de la igualdad de la acción y de la reacción del físico inglés pudiera hallarse el germen del teorema de la conservación de la energía; pero nadie con más títulos que Juan Bernouilli para ser proclamado como el descubridor del principio de lo que él llamaba *conservatio virium vivarum*, ya reconocida por Leibnitz en los fenómenos del choque. Poco después, Daniel Bernouilli, en su Hidrodinámica, aplica á los movimientos de los flúidos el principio formulado por su padre Juan Bernouilli; y algo más tarde, Euler demuestra que la fuerza viva de un punto, atraído ó repelido por otro fijo, según una potencia de la distancia, tiene idéntico valor, cada vez que el punto móvil ocupa las mismas posiciones, con respecto al punto fijo, sentándose con esto las bases de la teoría del potencial.

La noción de *esfuerzo* de Euler se precisa por Poncelet (1) con la palabra *trabajo*, y Tomás Joung designa por primera vez la fuerza viva de un cuerpo en movimiento con el nombre de *energía*, al cual concedemos hoy casi idéntica significación que la que veintitres siglos hace había atribuído Aristóteles al vocablo *ἐνέργεια*.

Dejemos á un lado las discusiones que acerca de la correcta expresión matemática de la fuerza viva mantienen por aquel tiempo los geómetras y consignemos que desde este momento el teorema de la conservación de la energía queda aceptado como una verdad incontestable en la mecánica.

En la mecánica, digo, y así es en verdad, que tan solo para los fenómenos del movimiento sensible juzgábase aplicable

(1) *Cours de mec. appl. aux machines*.—Metz. 1826.

aquel principio, cuya significación en las demás acciones físicas nadie hubiera podido prever.

Pero estudia Sadi Carnot la máquina de vapor, reconoce la constante desaparición del calor como condición inexcusable del trabajo producido y ofrécese como ineludible este dilema: ó el trabajo se crea de la nada ó existe una relación entre el trabajo producido de una parte y el calor y la temperatura que la máquina consume de otra. Nada importa que Carnot considerara el calor como una materia más; nada significa que para Carnot no fuera el calor mismo, sino el producto de una cantidad de calor por una temperatura, la verdadera representación de la energía de la máquina; lo esencial, lo trascendente del trabajo de Sadi Carnot, es la noción de equivalencia entre una *acción física* y un *fenómeno mecánico*. Mas, como si no fuera esta prueba suficiente de su maravilloso ingenio, la carta publicada por su hermano H. Carnot (1), demuestra que Sadi Carnot, posteriormente á la publicación de su célebre obra (2), no solo se imaginó el calor como un modo de movimiento, sino que, antes que ningún otro físico, determinó experimentalmente su equivalente mecánico, que él fijaba en el número 370. Si Clapeyron comparte con Sadi Carnot la gloria de enlazar la física con la mecánica, Rumford, en 1798, había demostrado experimentalmente la inmāterialidad del calor, ya afirmada años antes por J. Montgolfier. El impulso estaba dado. Hess en sus estudios de termoquímica (3), Faraday en sus experiencias eléctricas (4) negando la acción del contacto, Mohr en su opúsculo sobre la naturaleza del calor (5), y, por último,

(1) H. Carnot.—*Compt. Rend.*—87. 1878, p. 87.

(2) Sadi Carnot.—*Reflex. sur la puiss. motrice du feu.*—París, 1824.

(3) *Termoch. untersuch.*—*Pogg. Annal.* 50-1840.

(4) *Phil. Trans.* 1840.

(5) *Ann. der Pharm.* 1837, p. 141.

Julio Roberto Mayer (1) en sus diversas publicaciones, proclaman la imposibilidad del movimiento perpétuo, la conservación de la fuerza, la indestructibilidad de la materia.

Desde este momento, la identidad de causa de los fenómenos naturales es cada vez más claramente percibida.

Si Mohr afirma que, además de los 54 elementos entonces conocidos existe un *agente* llamado *fuerza*; y que la misma capaz de levantar un martillo puede convertirse en afinidad, cohesión, electricidad, luz, calor y magnetismo, Roberto Mayer (2), por su parte, declara que la fuerza de Newton es una propiedad, en tanto que la verdadera fuerza, el exclusivo agente es la *vis viva* de Leibnitz; y en trabajos posteriores establece la equivalencia de las acciones de gravitación, movimiento, calor, magnetismo, electricidad y oposición química; y W. Grove, en una lección pronunciada hacia Enero de 1842 en la Institución Real de Londres y en una serie de lecturas dadas un año más tarde, expone los fundamentos experimentales en que puede apoyarse legítimamente la teoría de la correlación de las fuerzas físicas (3).

El 23 de Julio de 1847, Hermann Helmholtz afirma ante la Sociedad física de Berlín sus ideas sobre el «Principio de la conservación de la fuerza,» realizando de una vez la admirable síntesis que venía preparándose lentamente por sus predecesores. La completa homogeneidad de los fenómenos naturales, la identidad de causas que los producen, las nociones de fuerza viva y fuerza de tensión (*Spannkraft*), su dependencia mutua y el carácter de las funciones matemáticas que las expresan adecuadamente, son consideradas con tan profundo sentido, con tan completo conocimiento del porme-

(1) *Liebigs Ann.* 1842, p. 233.

(2) Mayer. — *Die organische Bewegung. — Mechanik des Warmes.* — Stuttgart, 1874.

(3) Grove. — *Corr. des forces phys.* — París, 1856:

nor, que sin vacilación alguna ha podido proclamarse á Helmholtz como el primer físico de los tiempos modernos.

Después de recorrer aquellas admirables páginas del libro «*Über die Erhaltung der Kraft*,» donde todo está dicho y previsto y analizado, poco queda que aprender en las vulgarizaciones experimentales que, en número considerable, se han dado á luz más tarde.

Para formular sus conclusiones, no había necesitado Helmholtz establecer sino un principio, base y fundamento de toda su doctrina. Este principio, hallado en virtud de razonamientos analíticos, muestra que todos los fenómenos naturales son producidos por fuerzas que obran en función de la distancia de los elementos materiales que las contienen, fuerzas que poseen un potencial, fuerzas centrales en una palabra. Y sentado esto, la unidad de todos los fenómenos naturales, la posibilidad de enlazar con esta teoría los axiomas newtonianos y de aplicar, por tanto, á la física todos los principios de la mecánica, era por demás patente.

No abusaré de vuestra paciencia recordando el sinnúmero de trabajos, ya teóricos, ya experimentales, que realizan Joule, Colding, Holtzmann, Rankine, Thomson, Franz Neumann, Clausius, Hirn y tantos otros siguiendo el camino trazado; impórtame solo consignar que, desde este momento, las fuerzas todas de la naturaleza quedan enlazadas en un principio común y todos los fenómenos que contemplamos gobernados por la ley contenida en aquella ecuación de Helmholtz, cuyo primer miembro es la suma de las energías de un sistema abandonado á sí mismo y cuyo segundo miembro es una cantidad constante. Insistiré, sí, en afirmar que desde este momento desaparecen aquellas concepciones entitativas de fuerzas misteriosas, de leyes especiales, de virtudes catalíticas, de acciones inexplicables reducidas así á manifestaciones de una sola causa, de un solo agente, de un primer origen.

Distancias representables en el espacio, velocidades expresables en números, trayectorias y configuraciones determinables geométrica y algebricamente; he ahí, en resumen, los términos sencillísimos en los que en último análisis se resuelve el inexplicable laberinto de las acciones físicas, sometido así á los principios claros, precisos y rigurosos del álgebra, de la geometría y de la mecánica. Mas aún queda fuera de estas indagaciones un problema por considerar; problema del cual ya hice antes mención. La ley de la conservación de la energía contiene una noción, la de masa, que allí aparece no más que como un coeficiente de resistencia, como una relación determinada entre una fuerza y la aceleración que la misma engendra. Pero fuera de este valor numérico, fuera de este aspecto matemático de la noción, hay en ella algo que es el fruto de nuestra experiencia cotidiana, algo que afecta á nuestros sentidos y que por ofrecer notas peculiares permanentes en medio de una infinita variedad de estados posibles, designamos con el nombre de *materia*; concepto cualitativo, es cierto, no reductible á cifras ni á símbolos sino *en tanto que* se nos ofrece como vehículo y soporte de una fuerza, pero noción imperiosamente impuesta por la razón como el sujeto del cual en cada determinado instante concebimos la fuerza como predicado.

Valiéndose de la balanza, Lavoisier había mostrado la indestructibilidad de esta materia, de este *substratum ideal* que forma una para nosotros inexcusable categoría de la Naturaleza. Mohr, Mayer y Helmholtz habían afirmado esta misma indestructibilidad, probada constantemente por nuestra experiencia; pero una vez confirmada y demostrada, era inexcusable buscar alguna razón de las causas que modifican las infinitas apariencias de esta materia, de sus modos cualitativos que la naturaleza nos ofrece bajo tan diversos estados, tan diferentes aspectos y tan desemejantes propiedades. Menester era, pues, penetrar en la constitución de los cuerpos,

disecarlos, determinar las causas en virtud de las cuales ofrecen estas ó las otras propiedades y encontrar así un concepto de unidad que sistematizara el informe conjunto de nuestras innumerables impresiones sensibles.

Si Linneo consideró las formas cristalinas como producto de causas constantes; si Buffon hizo notar la necesidad del tiempo como condición precisa para que aquellas formas se produjeran, ni la cristalografía publicada por Romé de l'Isle en 1772, ni el tratado clásico de Haüy de 1801, ni Naumann en sus dos notables obras, tratan otra cosa que la ley geométrica del cristal, quedando por el momento perdida la indicación del ilustre naturalista sueco, hasta que Franz Neumann, el maestro que ha dado más maestros á Alemania y al mundo, consigna, en 1823, que las caras no son algo primordial en los cristales, sino que deben considerarse como *el resultado de las fuerzas* que obran en la dirección de aquellas. Y como las teorías dinámicas de la física iban suministrando resultados de la mayor importancia, Brewster, Biot, Babinet, Fresnel y Fizeau establecen los fundamentos de una cristalografía dinámica ó física en consonancia con el principio sentado por Franz Neumann.

Bravais más tarde, estudiando las posiciones posibles de un sistema de puntos que figuren los centros de gravedad de las moléculas cristalinas, y Leonardo Sohncke, en 1879, tratando la cuestión con los métodos de la nueva geometría de Jordán, hacen ver que una vez que la cristalografía física ha mostrado las relaciones necesarias que existen entre la posición de las caras, sus propiedades y sus orientaciones posibles son calculables *à priori*. Sohncke prueba además, que si físicamente no puede haber más de seis sistemas cristalinos, todas las formas posibles de los cristales se hallan regidas por las leyes geométricas que determinan las posiciones respectivas de los puntos que en número ilimitado cabe disponer regularmente en el espacio.

De esta doctrina de Sohncke resulta, que todas las hemiedrias y hemimorfias son representantes de verdaderos sistemas geométricos, matemáticamente determinables por el movimiento giratorio al rededor de un punto de n rectas cristalográficamente equivalentes, susceptibles de engendrar así treinta y dos sistemas cristalinos diferentes.

De toda esta nueva dirección de la cristalografía, en la que desempeñan un papel tan importante las observaciones de laboratorio como los teoremas de la geometría de posición, impórtanos tan solo, por el momento, poner de relieve el sentido general que la domina, y que cada día se determina más y más.

«Cristal es un cuerpo sólido, inorgánico, con forma propia y esencial, dependiente de sus propiedades,» dice Zirkel (1).

«Cristal es un cuerpo sólido homogéneo, cuya elasticidad varía con la dirección,» dice Groth (2).

«Cristal es un cuerpo sólido homogéneo, cuyas propiedades físicas varían según leyes de simetría con la dirección,» dice Schoenfliess» (3).

En estas tres definiciones que cito, se pone de relieve el sentido de la cristalografía moderna. El cristal es, ante todo, un sistema de fuerzas orientadas en dirección y en magnitud; y la forma, las caras, los ángulos que estas forman, no son otra cosa que la envoltura, la cáscara, la representación geométrica de un infinito contenido de fuerzas enlazadas en sistema.

Entre aquel sólido que, como petrificado y muerto, estudiaron Haüy y Naumann y el conjunto complicadísimo de fuerzas que hoy imaginamos, media toda la distancia que separa el concepto estático de la naturaleza de su concepto dinámico.

(1) Naumann. Zirkel.—*Lehrb. der Mineralog.*, p. 3.

(2) Groth.—*Ber. der Berl. Akad.*, 1875, p. 549.

(3) Schoenfliess.—*Krystallstruktur*, p. 6.

Concebido así el cristal, el *teorema de las velocidades virtuales* de la mecánica sirve de punto de partida para la teoría analítica de sus propiedades, como consecuencia de la teoría matemática de la *deformación elástica*; y desde este altísimo punto de vista, elasticidades, propiedades ópticas, conductibilidades, dilataciones, todas sus características físicas, son calculables, son la traducción exterior de la actividad dinámica del cristal.

Más aún; el cálculo permite determinar fácilmente las deformaciones que puede experimentar el elipsoide, cuyos tres ejes son los tres parámetros de la forma considerada, y averiguar, por tanto, qué forma corresponde á una acción exterior, ó en otros términos, qué elipsoide quedará determinado en otras condiciones. Circunscripto así el problema, la geometría analítica da medios para calcular con facilidad qué puntos del segundo elipsoide se alejan más ó menos de los del primero y cuál será, por tanto, la posición del eje de máxima ó de mínima deformación, cuál será, en suma, la magnitud de la deformación necesaria para que el cristal ofrezca una forma determinada.

Clásica era aquella definición de los líquidos, como cuerpos desprovistos de forma propia, y en los cuales las fuerzas de atracción y de repulsión de las partes componentes se hallaban en equilibrio. Pero Segner, en 1752, y Joung, en 1805, observan por primera vez los fenómenos debidos á la tensión superficial, y Laplace en 1807, Gauss en 1822, y Bertrand, en 1832, muestran cómo los líquidos son sistemas de figura propia, tan pronto como las causas exteriores no perturban las acciones del potencial de las moléculas líquidas, fundando así la teoría de la capilaridad, hoy enlazada con los problemas más delicados de la dinámica molecular, y á cuya teoría han dado bases experimentales importantísimas Quinke, Plateau, Lüdtge y Du Bois Reymond.

Apuntaré aquí, no más que incidentalmente, que De Heen,

Grimaldi, Spring, Konovalow, Buchanan, Ramsay y últimamente Van t'Hoff, han hallado en la aplicación de los principios de la dinámica á la teoría de los líquidos consecuencias importantísimas para la química, no solo por lo que toca á los líquidos como tales, sino por lo que á su función como disolventes de otras sustancias se refiere.

La teoría de los líquidos ha progresado extraordinariamente desde el momento en que los líquidos y los gases han sido comprendidos por su carácter de flúidos en una teoría general iniciada por Lagrange, quien por vez primera establece la posibilidad de aplicar á unos y á otros los mismos principios de la mecánica, borrando así los límites sobrado arbitrarios en que se hacía consistir la diferencia entre ambos estados.

La analogía que Lagrange estableció, hallábase en parte presentida por Daniel Bernouilli, que ya en su Hidrodinámica, publicada en 1738, establecía principios comunes para la teoría dinámica de líquidos y gases. No hubiera, sin embargo, fructificado esta idea tanto como merecía, á no haberse hallado recientemente medio de mostrar la comunidad de leyes que rigen en la mecánica de los líquidos y de los gases.

A las investigaciones de Bernouilli y de Lagrange siguen, por orden cronológico, los ensayos de Krönig sobre la teoría dinámica de los gases, cuyo asunto ha sido tratado por Clausius primero, y más tarde por Maxwell, Stefan, Oscar Meyer, Lang, Mendelejeff, Boltzmann, Loschmidt y otros, de tal suerte y con tal perfección, que bien puede decirse es esta teoría el más admirable monumento construído por el entendimiento humano.

Considerar todas las *posibilidades cinemáticas* de un sistema de puntos movibles; determinar por el cálculo la verosimilitud de cada una; precisar también, mediante el cálculo, los fenómenos que semejantes puntos materiales pueden producir dentro de un recipiente; y concluir de aquí velocidades, trayectorías, fuerzas vivas, dilataciones, reducciones de

volumen, en consonancia completa con las leyes empíricas halladas por la experiencia muchos años antes, de tal suerte que cada día se hallen nuevas y más completas comprobaciones de la teoría, es, á no dudarlo, un triunfo que puede inspirar lejítimo orgullo á la ciencia contemporánea.

La trascendencia de esta teoría es tan considerable que, dicho sea de paso, los fundamentos de la química actual son sin ella ininteligibles; pero la prueba más decisiva que ha podido presentarse en confirmación de aquélla, la dan los resultados obtenidos por Van t'Hoff en el estudio de los fenómenos de la presión osmótica. Las ecuaciones diferenciales de la termodinámica permiten á Van t'Hoff calcular el trabajo de la presión osmótica, hallar la proporcionalidad entre ésta y la temperatura absoluta, y por tanto, encontrar confirmada para los líquidos la ley de Gay-Lussac hallada para los gases, y de igual suerte las de Boyle y Avogadro.

Si la analogía entre los líquidos y los gases es completa, como resulta de estos estudios, cuando se los considera en su estado propio, en su *estado actual* como se dice en física, esta analogía se convierte en identidad tan pronto como colocamos líquidos y gases en determinadas condiciones de presión y de temperatura; ó en otros términos, tan pronto como modificamos en cierto grado las condiciones exteriores de su existencia.

Cagniard de la Tour en 1822, Faraday en 1823, Mendelejeff en 1861, Andrews en 1869 y Thomson en 1871, suministran los primeros materiales con los que Clausius, en 1870 primero, y en 1880 después, y Van der Waals en 1881, habían de construir la teoría de la continuidad de los estados líquido y gaseoso. Según en esta se afirma, y según la experiencia comprueba, el estado líquido y el gaseoso no son más que los términos extremos de una serie continua de estados que pende de las condiciones exteriores de los cuerpos á ellas subordinados.

La teoría de Van der Waals muestra claramente cómo la magnitud de la atracción molecular de los gases se modifica por la acción de la presión y de la temperatura, y cómo, en definitiva, la ecuación del estado gaseoso, en función de aquellas dos variables, indica la existencia en la curva de un punto en el cual el volumen del cuerpo es el mismo, sea el estado líquido ó el gaseoso el que el cuerpo afecte.

Las numerosas é interesantes experiencias de Natterer, Cailletet, Pictet, Wroblewski y Olczewsky sobre la liquefacción y solidificación de los gases no contienen, puede decirse, como principios fundamentales, otra cosa sino consecuencias de la teoría señalada.

En todas estas doctrinas, en el fondo de todas estas hipótesis, no hay más que una afirmación, que obscuramente formulada unas veces, rotundamente expresada otras, parece responder á una convicción universalmente admitida. Todo lo que nosotros sabemos y podemos saber de la naturaleza, no es otra cosa que fuerza; y esta, en sus diversas formas, relaciones, dependencias, posiciones y magnitudes, es lo que nuestros sentidos perciben, miden y conocen.

Hasta qué punto esta dirección ha sido y es vivificadora, es inútil mostrarlo después de lo dicho; que si de una parte las ciencias de la Naturaleza van sustituyendo el estudio de la cualidad con el de la cantidad, de otra, la ley de la conservación de la energía conduce á una concepción del universo, que hace de la mecánica una ciencia natural; mejor dicho: la primera de las ciencias naturales.

Por esto dice Helm (1) con profundo sentido, que debe romperse con la tradición que considera exclusivamente á la mecánica como la teoría de determinadas ecuaciones diferenciales de segundo orden y hace de ella una teoría matemática abstracta.

(1) Helm.—*Die Lehre von der Energie*, p. 98.

Por esto puede afirmarse que el *monismo* de Toland (1), cada vez más claramente comprendido, es un supuesto inexcusable para la construcción, no solo de la ciencia de la Naturaleza, sino de toda ciencia.

Así lo ha comprendido Wundt al formular como axiomas las leyes que rigen la relación entre los fenómenos físicos y el principio de causalidad (2). Así lo comprende, en fin, toda la ciencia moderna al atribuir á fuerzas todas las propiedades de las cosas sensibles.

Aunque á esto se limitara la influencia ejercida por el concepto dinámico, mucho habría ya que agradecerle; pero su influencia ha ido mucho más allá. La severidad y disciplina que impone al investigador la aplicación de los principios de la cantidad, no solo le han hecho discernir elementos experimentales antes inadvertidos, sino que han vivificado y renovado completamente el sentido con el cual estimaba el fenómeno natural, sus causas y sus efectos.

Ni podía ser de otro modo, pues si el fenómeno estudiado cualitativamente es, digámoslo así, inmóvil, tan pronto como la investigación se propone averiguar sus causas y establecer entre éstas y aquél algún enlace, la ley de dependencia se establece; la continuidad se impone; surge la relación de causa á efecto; y aquella propiedad, antes en apariencia *constante*, se ofrece ahora como una relación entre la propiedad y su causa, en que la propiedad *varía en función* de la causa misma.

De aquí, pues, que forzosamente no exista otra expresión correcta para nuestros resultados experimentales sino la que con tan maravillosa exactitud nos representan los *coeficientes diferenciales*, forma viva de la dependencia que existe entre el fenómeno y su causa. De aquí, en suma, que cada vez que

(1) *J. Toland und der Monismus*, 1876.

(2) Wundt. — *Die physikalischen Axiome und ihre Beziehung*, etc.

los resultados de nuestras experiencias no son representables por *una derivada*, debamos reconocer que ignoramos las causas que determinan el fenómeno observado ó la dependencia en que se halla el fenómeno respecto de su causa.

Las constantes de nuestra experiencia, solo en determinadas circunstancias pueden ser consideradas como tales constantes; y para fijar su valor peculiar en cada caso se hace indispensable obtener datos que nos consientan conocer cuál sea aquel en las condiciones de la experiencia misma. Así lo establece con trascendental sentido la física moderna, al considerar en cada manifestación de una actividad determinada no solo la forma de la energía de que las propiedades de un sistema molecular dependen, sino el *contenido* de aquella energía en el sistema considerado. No basta conocer la forma de una energía, ni su potencial propio, para caracterizar con estos datos la naturaleza del sistema, ni la magnitud de sus propiedades, sino que es indispensable además conocer el contenido de aquella energía que en el sistema se encierra; y este contenido no es otra cosa que la nota más característica del sistema relativamente á la propiedad estudiada. Precisamente este contenido de energía en el sistema es el que, multiplicado por una caída, por una *diferencia de potencial*, mide la *capacidad de trabajo* del sistema mismo. Respecto de aquel contenido, nada podrían decirnos las impresiones que en nosotros produce lo exterior. Nuestros sentidos no aprecian ni perciben otra cosa que caídas, diferencias, desequilibrios, desniveles de potenciales; nunca las energías mismas, en medio de las cuales vivimos y nos movemos.

Percibimos diferencias de luz, de temperatura, de velocidad; las energías, substantivamente consideradas, no nos son cognoscibles.

Mas si, según decía antes, el sistema dinámico, cualquiera que él sea, posee un contenido, una cantidad de aquella energía, cantidad que le es propia y peculiar, esta es preci-

samente la que caracteriza el sistema, la que le es propia, y no la energía, que puede serlo de todos los sistemas posibles, ni la diferencia de potencial, que pende, en la mayoría de los casos, de condiciones ajenas al sistema mismo.

En qué términos esta cuestión preocupa y merece preocupar á la ciencia contemporánea, lo prueban las designaciones múltiples y las diferentes formas de representación empleadas por los científicos para designar esta virtualidad característica de los sistemas materiales.

La *entropía de Clausius*, la *función termodinámica* de Rankine, el *peso del calor* de Zeuner, la *adiabacia* de Oettingen, son designaciones diversas que envuelven una idea primordial, única; á saber: la relación entre una energía y un potencial, relación dependiente de la naturaleza y estado propios del sistema considerado.

A cada estado del sistema corresponde una relación entre la energía que posee y el potencial que manifiesta; cada vez que, en medio de una serie de transformaciones, el sistema considerado vuelve á su estado primitivo, la relación entre la energía total y el potencial es idéntica; y cabe, por tanto, afirmar, que esta ley, llamada *ley de la conservación de la entropía*, es un complemento de la *ley de la conservación de la energía*, al propio tiempo que la expresión más breve y compendiosa del segundo principio de la termodinámica.

Hasta qué punto esta idea de relación entre una cantidad de energía y el potencial que un sistema manifiesta es fructífera, lo comprueba el que con idéntico significado ha sido introducida por Maxwell en la teoría de la electricidad, para mostrar con ella la relación entre la cantidad de energía que un sistema contiene y el potencial de que dispone. Muy recientemente Meyerhoffer ha demostrado que á cada forma de energía corresponde una forma peculiar de entropía, haciendo resaltar al propio tiempo la trascendencia que ofrece

la determinación del *contenido de energía* de un sistema material para interpretar debidamente los fenómenos físicos y químicos. La conformidad de la ley de conservación de la entropía con el principio de Sadi Carnot, es patente y basta para reconocerla notar la significación que Carnot atribuye á la temperatura con relación al calor para encontrar en ella la representación del potencial con relación á la energía.

De esta teoría de la entropía se deducen consecuencias importantísimas para la teoría de la disociación en química y aun para la interpretación exacta de los fenómenos térmicos, no explicables satisfactoriamente con solo el principio de la equivalencia del calor y el trabajo.

La ley de la entropía es, puede decirse, la ley de la energía *contenida* en los sistemas materiales; y necesariamente había de intervenir en todo lo que traduce bajo la forma de fenómenos sensibles el modo peculiar de determinarse cada energía en cada uno de aquellos sistemas particulares.

Si al llegar á este punto nos proponemos resumir en pocas palabras los resultados de toda esta dirección, hallaremos que, en definitiva, la ciencia natural contemporánea, ora bajo la forma de *doctrinas cinéticas*, fundadas en los principios de la mecánica, ora bajo la forma de *potenciales* y de *energías*, no considera otro elemento esencial, característico y aún cognoscible que *la fuerza*, categoría en la cual vienen á resolverse todas nuestras nociones de la Naturaleza.

IV

Ningún problema merece fijar más detenidamente la atención del pensador que el del origen de las doctrinas científicas. Circunstancias al parecer accesorias, detalles y condiciones de escasa importancia en la apariencia, determinan á veces la idea que, elaborada maduramente, se convierte en teoría científica, sin perder por eso el sello peculiar de su origen primitivo.

Dispuesto así el material del conocimiento, la tradición legada, el medio ambiente que á las generaciones sucesivas se crea, son influencias á las cuales difícilmente se sustrae el pensamiento, á menos de no contar, para contrarestarlas, con el poderoso apoyo de un genio reformador. La física, la astronomía, las matemáticas, fueron siempre, hasta donde la obscura tradición alcanza, patrimonio de hombres que cultivaban estas tres ciencias como una sola, asociando así el elemento cuantitativo, la representación algébrica y la construcción gráfica, á la concepción dinámica de los fenómenos físicos y astronómicos. Difícil es averiguar si el origen de muchos de los principios matemáticos conocidos en la antigüedad reside en la observación de los fenómenos naturales ó en la deducción racional de intuiciones ideales. Pero sea cualquiera este origen, solo nos importa señalar que el elemento cuantitativo, la

ley numérica, parecen acompañamiento inseparable de toda observación astronómica y de muchas observaciones físicas. La química, por el contrario, nieta del *arte sagrado* é hija lejitima de la *alquimia*, busca desde el primer momento la cualidad de las cosas, la aplicación de que estas cosas son susceptibles en virtud de su cualidad misma, y no parece sospechar siquiera que algún día las cualidades puedan interpretarse con los principios y leyes de la cantidad.

Contemporáneos de Keplero, Copérnico, Cardan, Galileo y Descartes son aquellos adeptos que realizaban la transformación de los metales, rejuvenecían á los ancianos y sostenían la posibilidad de viajar por los aires y de prolongar la vida hasta el día del juicio final; y sin embargo la química es, según la tradición afirma, una de las ciencias más antiguas y que más pronto dieron resultados de aplicación inmediata.

Los principios de la ciencia de la cantidad, que tan profundamente habían arraigado en la física y en la astronomía, no habían ejercido influencia alguna en la química, impregnada por aquel entonces de las nebulosas y oscuras concepciones de la astrología y de las sobrenaturales aspiraciones de la época.

Hasta qué punto estas influencias hacen sentir su acción, lo comprueba el que hasta nuestros días, puede decirse, la química ha permanecido ajena á toda cuestión en la que se debatiera otra cosa que la cualidad de los objetos materiales, buscando en esta cualidad más bien el gérmen de nuevas aplicaciones que el fundamento de ideas más generales.

Es esta, á no dudarlo, una de las causas que más decisivo influjo han ejercido en el desarrollo histórico de la química, determinando así un desnivel considerable entre su contenido de pormenor y los principios sistemáticos en que aquél debe fundarse. Al lado de la observación prolija, minuciosa, paciente del fenómeno, no ha sido posible colocar el principio que sirviera para interpretar debidamente su causa ni su ley.

Deficiencia es esta, notada de mucho tiempo atrás por los pensadores. Hace ya 112 años que el ilustre Kant, decía:

«Cuando los principios de una ciencia, según sucede en la química, por ejemplo, quedan en último análisis como puramente empíricos, y las leyes por medio de las que debe la razón explicar los hechos, no son más que puras leyes de experiencia, entonces no llevan consigo la conciencia de su necesidad, no son apodícticamente ciertas y por consecuencia el sistema entero no merece, rigurosamente hablando, el nombre de ciencia. La química deberá, pues, llamarse un arte sistemático más bien que una ciencia.»

«En tanto que no se haya encontrado para explicar las acciones químicas de unas sustancias sobre otras, un concepto susceptible de ser construído; ó en otros términos: en tanto que no se pueda dar de la aproximación ó alejamiento de los elementos, ninguna ley según la cual, proporcionalmente á sus densidades, por ejemplo, ó á alguna otra propiedad análoga, se hagan intuitivos sus movimientos y las consecuencias de estos y puedan representarse *à priori* en el espacio, desideratum al cual es difícil que se satisfaga jamás, la química no será otra cosa que una doctrina experimental, pero en modo alguno una ciencia propiamente dicha, porque los principios de la química son puramente empíricos y no pueden ser representados *à priori* en la intuición; no hacen concebible en modo alguno la posibilidad de las leyes fundamentales de los fenómenos químicos, porque no son susceptibles de ser sometidos á las matemáticas» (1).

Vivas están las palabras del ilustre filósofo y naturalista, y ellas son la mejor crítica que cabe hacer del sistema entero de la química.

Nada más cierto, en efecto, ni más adecuado para mostrar el carácter de los principios, que forman el organismo de una

(1) Kant.—*Metaphys. Anfangsgründe der Naturwiss*, p. 2 y 4.

ciencia, que el buscar su fundamento en las ideas susceptibles de ser deducidas por el proceso racional.

Nada más conforme tampoco á la aspiración del naturalista, que la exigencia formulada por Kant de una ley que, en función de fuerzas y de distancias, permitiera hacer intuitivos los fenómenos de la combinación.

Mas si alguien atribuyera á influencias de ensueño metafísico el juicio que al filósofo de Koenisberg merecía la química de su tiempo, oigamos la opinión formulada por Gerhardt sesenta y ocho años después, opinión no menos precisa y concluyente, autorizada además por los extraordinarios conocimientos de su autor, con razón considerado como uno de los primeros químicos de este siglo.

«Llegará un día, dice, en que se escriban los libros de química como se escribe un álgebra ó una geometría; únicamente entonces se esparcirá esta ciencia entre las masas (1).

Kant y Gerhardt pudieron pensar que se hallaba muy lejos el momento en que aquellos ideales fueran, no ya realizados, sino comprendidos, que no autorizaba á otra cosa la ciencia de su tiempo, ni aún lo autoriza todavía en mucha parte la actual; pero fuerza es declarar que el carácter orgánico de la cultura presente, el reconocimiento de las relaciones que entre sí mantienen los principios científicos, el concurso activo que las ciencias recíprocamente se prestan, influencias todas de que ya antes se ha hecho mérito, han anticipado singularmente ese progreso de los tiempos y convertido en próximo lo que tan lejano pudo creerse un día.

Las aspiraciones de Kant y de Gerhardt constituyen hoy el objetivo hacia el cual camina la química y han pasado de la categoría de opiniones individuales á la de norma general de una dirección científica.

Swarts afirma que *«la química es una ciencia especulativa*

(1) Gerhardt.—*Introd. á la Chimie. IX.*—París, 1848.

como lo es la astronomía; como ésta, añade, *investiga leyes y causas, y si alguna vez se convierte en ciencia descriptiva, es con el fin de reconocer el objeto de sus estudios*» (1).

Y Schutzenberger, uno de los primeros experimentadores de nuestra época, consigna que «*bien pronto el cálculo matemático será tan útil al químico como la balanza*» (2).

Aspiraciones tan homogéneas, ideales tan semejantes con tan completa conformidad expresados, no son ni pueden ser resultado de puntos de vista individuales; antes al contrario, muestran bien á las claras la existencia de un pensamiento idéntico que se dibuja con entera claridad en medio de los accidentes de la Historia.

Y así debe ser necesariamente. Concretar en un solo principio los diversos resultados de nuestro conocimiento; encerrar en una sola fórmula la expresión real de todas las leyes particulares; unir en un solo concepto los innumerables teoremas que constituyen el fruto de nuestra investigación: tal es el objetivo supremo de la inteligencia humana y tal el ideal de la ciencia.

Por eso estimamos como más alto y más trascendente el principio que el hecho; por eso juzgamos mayor el progreso á medida que sintetizamos en uno solo mayor número de casos particulares; por eso nos atrae con fuerza incontrastable toda teoría que establece unidad entre doctrinas antes dispersas.

Para conseguir este fin no existen sino dos procedimientos. Consiste el uno en analizar un gran número de hechos análogos, eliminar lo peculiar de cada uno, concertar lo homogéneo de todos, é *inducir* una ley fruto del estudio de aquellos hechos y para ellos cierta; ley cuya probabilidad y verosimilitud aumentan con la raíz cuadrada del número de hechos obser-

(1) *Precis de Chimie*, I, p. 3. París 1868.

(2) *Traité de Chimie*, I, p. XI, prólogo.

vados, pero que deja siempre lugar á la duda lejitima respecto de lo no observado ni conocido. Tal es la inducción, camino único posible en las ciencias de la naturaleza cuando formulan sus leyes en vista de los resultados de la observación y de la experiencia. Pero la Razón humana tiene principios, que sea cualquiera su origen primitivo, ofrecen un carácter de generalidad tal, formúlanse con tan completa separación de lo individual, se apoyan en categorías metafísicas de tal extensión, que desde ellos descendemos y podemos descender á los hechos para contrastarlos en la seguridad absoluta de que el hecho que los negara podría ser tenido por mal observado, por irracional, por falso, por imposible, en una palabra; que tal es el valor que otorgamos y á tanto alcanza la autoridad que concedemos á aquellos principios.

Procedimiento es este que solo puede ser aplicado en la medida en que la Razón humana precisa, y determina el contenido de aquellos principios para todas las formas de la realidad observable. Método es el *sintético* que por la dificultad de concretar el modo en que aquellas leyes y categorías son aplicables á lo particular se halla limitado forzosamente, si bien sus frutos poseen un valor independiente de la esfera de los objetos que considera.

Asociación feliz de ambos es el método que hoy preside á la construcción científica de la ciencias físico-químicas, método que con razón puede llamarse *compuesto* ó *inductivo deductivo*, en el cual la ley racional *formula la posibilidad* del hecho que la experiencia y la observación buscan, y en el que de otro lado, la experiencia y la observación *inducen* la ley que el proceso racional *procura deducir* de principios ideales.

El principio teórico deducido que la observación ó la experiencia no confirman, es tenido con razón por falso. La observación, la experiencia, que no concuerdan con la ley racional, son desechadas por inexactas.

Todas las ciencias de la naturaleza, todas las doctrinas más firmes que hoy poseemos, son resultado de la aplicación de este proceso, al cual suele denominarse *deductivo* con inexactitud notoria, toda vez que ningún principio racional es susceptible de suministrar por sí solo datos acerca de lo determinado y peculiar que la Naturaleza ofrece. Aceptemos, sin embargo, esta usual denominación consagrada por el uso y señalemos de pasada la física llamada *matemática*, como el ejemplo más acabado de la aplicación del método deductivo.

El método analítico y el sintético guardan entre sí la misma relación, como dice Jordan (1), que el cálculo diferencial y el cálculo integral. «*El primero, dado el efecto, investiga la causa; el segundo calcula el efecto, conocida la causa que le produjo.*»

A estos dos procedimientos únicos ha apelado la química para constituir el sistema de sus principios fundamentales, principios cuyo objeto había de ser necesariamente la investigación de la causa de los fenómenos químicos y sus leyes. No bastaban para realizar tal propósito las leyes de las proporciones químicas, las cuales no son otra cosa que la afirmación de un hecho observado, y por esto mismo, independiente de toda hipótesis y de toda teoría; era menester que, ya fuera inspirándose en la concepción atomista de Dalton, ó ya como consecuencia de las doctrinas, llegara á construirse una síntesis que permitiera penetrar más profundamente en el conocimiento del fenómeno de la combinación.

El método inductivo se halla representado por la dirección que pudiéramos llamar *estequiométrica*, conservando la designación que Richter dió hace un siglo, por vez primera, á la doctrina de las proporciones químicas.

El método deductivo ó sintético se encarna en la dirección que pudiera denominarse *cinética*, en la cual, los principios

(1) Jordan.—*Cours d'analyse*, I, p. 8.

de la mecánica, las verdades matemáticas, el sentido actual de la unidad de causa en todos los fenómenos sensibles, constituyen, orgánicamente enlazados, la base fundamental de todas las teorías que á la química se aplican. Inspírase esta dirección en aquella intuición admirable de Laplace (1), que refiriéndose á los fenómenos físicos y químicos, decía:

«*La curva que describe un átomo está tan determinada como la órbita de un planeta, pues entre ambas no existe más diferencia sino la que nuestra ignorancia establece.*»

No han dado ambas direcciones iguales frutos; ambas, sin embargo, han contribuido poderosamente á constituir una parte general de la química, hasta hace poco reducida, por lo común, en todos los tratados usuales á un solo capítulo, dando con esto motivo á que se tuviera á la química por una de las ciencias más empíricas entre las que estudian fenómenos naturales. Y, sin embargo, Berthollet (2), Fourcroy (3), Persoz (4), Liebig (5), Gerhardt (6), Kopp con Buff y Zamminer (7), Mohr (8), A. Naumann (9), y posteriormente, Dellingshausen (10), y aún más recientemente Hortsmann (11) y Ostwald (12), constituyen una pléyade de hombres ilustres

(1) Laplace.—*Essai philosophique sur les probabilités*, p. 6.

(2) Berthollet.—*Estatique chimique*, 1803.

(3) Fourcroy.—*Philosophie chimique*, 1806.

(4) Persoz.—*Chimie moléculaire*, 1839.

(5) Liebig.—*Introduction á l'étude de la chimie* (sin fecha, *Bibliothèque des connaissances utiles*).

(6) Gerhardt.—*Introduction á l'étude de la chimie*, 1848.

(7) Kopp, Buff y Zamminer.—*Lehrbuch der physikal. und theoretisch. Chemie*, 1857.

(8) Mohr.—*Mechanische Theorie der chem. Affinität*, 1867.

(9) Naumann (A).—*Allgemeine und physik. Chemie*, 1877.

(10) Dellingshausen.—*Die Rationellen Formeln der Chem.*, 1876.

(11) Hortsmann.—*Theoretische Chemie*.

(12) Ostwald.—*Lehrb. der Allgem. Chemie*, 1887.

consagrados á formar la teoría del fenómeno químico, ó lo que en otros términos se denomina química general.

No cabría en los límites de este trabajo la enumeración de los tratados, que desde un punto de vista más especial, han contribuído poderosamente á formar también la parte general de la química, el organismo de sus principios fundamentales.

Precisa, sí, rendir un tributo de admiración á las obras magistrales de Berthelot, Thomsen y Naumann en la termoquímica, á la de Tommasi sobre electroquímica, así como á las publicaciones de Landolt y Winkelmann, Van t'Hoff, Helmholtz, Lechatellier, Moutier, Duhem, Ditte y Willard Gibbs, que, desde diversos puntos de vista, han tratado las complejas cuestiones que se refieren al equilibrio químico.

Consignemos de pasada que esta aspiración á constituir la química general, aspiración que cuenta ya cerca de un siglo de existencia, no ha encontrado eco en nuestro país, donde la química general se reduce, por lo común, al estudio de algunas monografías de compuestos minerales, con la indicación somera de algunas industrias importantes.

La dirección estequiométrica ha perseguido el siguiente problema: *determinar la ley que liga las propiedades de una combinación con el número y cualidad de los elementos que constituyen la combinación misma.*

Dos descubrimientos inician las investigaciones en este sentido. Es el primero en el orden cronológico, la ley de Dulong y Petit formulada en 1818. El segundo es la ley del isomorfismo, descubierta por Mitscherlich en 1820.

De la primera, y salvo las importantes rectificaciones de Regnault, el más grande experimentador de este siglo, son consecuencias la ley de Neumann y la de Woestyn, referentes al calórico específico de las combinaciones, completadas y confirmadas por los clásicos trabajos de Hermann Kopp. De valor innegable como primera aproximación á una ley más perfecta, muestran los resultados obtenidos que, según toda

probabilidad, existe una relación determinada entre el calor específico y el peso atómico ó molecular, tanto para los elementos, cuanto para las combinaciones. Mas sería precipitado el aceptar como leyes absolutas los resultados hasta ahora obtenidos, pues aparte las irregularidades que ofrecen, inexplicables unas, dependientes otras del estado físico del cuerpo observado, la teoría muestra que la noción de calórico específico solo tiene un significado preciso para los cuerpos gaseosos cuando éstos se hallan infinitamente alejados de su punto de liquefacción y en condiciones en que no produzcan trabajo exterior alguno.

La ley del isomorfismo establece la igualdad de forma cristalina de las combinaciones que poseen igual constitución molecular, y ha suministrado medios de decidir en muchos casos acerca de la magnitud atómica de un elemento. Pero ni el descubrimiento del *isomorfismo*, ni el de la *morfotropía*, debido á Groth, han conservado la importancia que se les atribuyó en un principio desde que la experiencia y la teoría concuerdan en afirmar que la forma cristalina es modificable por las acciones exteriores, según lo comprueban los numerosísimos casos de polimorfismo que en la actualidad se conocen.

Estrecha relación guardan con estos los trabajos é investigaciones de Schrauff sobre la relación que liga el volumen del cristal de una substancia (volumen calculado en función de sus tres ejes) con el volumen molecular calculado en función de la densidad y del peso molecular de la misma substancia, así como los de H. Kopp, que bajo la forma de relación entre los ángulos y los volúmenes moleculares, obtuvo resultados análogos. Pero no quedan estos más á cubierto que los anteriores de las dudas que hacen surgir los fenómenos de polimorfismo, y son, por tanto, cuestiones que parecen aguardar todavía una solución definitiva. De índole menos compleja que las precedentes son las relaciones halladas por Schröder, Hermann Kopp, Nordenskjöld y otros entre el volumen de

una combinación y el de sus elementos. El resultado obtenido hasta aquí como fruto positivo de estas investigaciones puede expresarse en la fórmula siguiente: el volumen molecular de una combinación es igual á la suma de los volúmenes atómicos de sus componentes. Las observaciones ejecutadas sobre los cuerpos orgánicos no han logrado, sin embargo, esclarecer aún la causa de las inexplicables irregularidades que en este particular se ofrecen con frecuencia.

Mayor importancia que á las anteriores se ha dado á las relaciones que puedan existir entre la composición química y el punto de ebullición de una combinación determinada, sin que hasta el presente, á pesar de las investigaciones de Kopp, Landolt, Schumann, Mills, Graebe y otros, se haya encontrado la ley que liga la composición de una substancia con la temperatura de ebullición. Cabe, sí, sospechar, que probablemente, mientras no se tomen en cuenta las temperaturas absolutas y las temperaturas críticas, como ya lo ha hecho Pawlewski, estas relaciones no podrán ofrecer un carácter definido.

En fin, las investigaciones clásicas de Gladstone y Dale, Landolt, Bruhl, Ketteler y otros sobre la *energía refractiva* de los elementos y la composición de una substancia que los contiene, parecen mostrar que las relaciones entre ambos datos experimentales son más complejas de lo que al principio creyeron Gladstone y Dale.

Interés considerable han despertado en estos últimos años las nuevas relaciones halladas entre las propiedades de los elementos y sus pesos atómicos, relaciones sospechadas ya por Dumas y Chancourtois, expresadas bajo la forma periódica por Newlands primero y por Mendelejew y Lotario Meyer más tarde, y representadas bajo forma analítica por Flawyetzki. Las concordancias de propiedades entre ciertos elementos previstos por la teoría y determinados cuerpos descubiertos más tarde, como el *galio*, el *germanio* y el *escan-*

dio, han dado nuevo valor á las que en otros tiempos pudieron creerse analogías fortuitas y sin trascendencia.

No alargaremos más esta enumeración; basta lo dicho para mostrar rápidamente el número incalculable de trabajos realizados con el fin de obtener del dato estequiométrico indicaciones acerca de las propiedades del cuerpo químicamente considerado, ya sea simple ó compuesto.

Afirmar que estos trabajos hayan sido inútiles, sería inexacto; antes al contrario, han mostrado la existencia probable de leyes que ligan la composición con las actividades propias de un cuerpo compuesto, y con la magnitud atómica y las propiedades de un cuerpo simple.

Mas si en los albores de la química de los compuestos de carbono, el descubrimiento de las series homólogas parecía facilitar en extremo el problema y dar un material admirablemente dispuesto para indagar estas leyes y aún para comprobarlas, el descubrimiento de la isomería ha rebajado extraordinariamente el valor de estos datos y su alcance. La existencia de numerosísimos cuerpos de una misma fórmula y composición químicas que ofrecen propiedades diversas, muestra la imposibilidad de concluir de la composición cuáles son aquellas y la necesidad absoluta de reconocer algo que no es el número de átomos ni su peso, ni, por consiguiente, la composición, algo, en fin, que suponemos sea la *posición* en la molécula de estos mismos átomos y en virtud de lo cual las propiedades se modifiquen y determinen.

La dirección estereoquímica, pues, permite suponer que deben existir leyes que enlacen la composición con las propiedades; permite reconocer la existencia de las que Ostwald ha llamado con gran exactitud propiedades aditivas, coligativas y constitutivas, pero obliga á admitir que estas últimas, entre las que se cuentan los puntos de fusión, de ebullición, la forma, el calor, etc., se hallan condicionadas por circunstancias que en la actualidad nos son completamente desconoci-

das y que probablemente son debidas á la distancia que separa unos elementos de otros en la combinación.

Que la ley existe es indudable: el sinnúmero de datos obtenidos lo afirma, y así parecen mostrarlo las pacientes investigaciones de Groshans, que pretende, con un éxito innegable en muchos casos, representar por medio de una función exponencial las relaciones de todas las propiedades de una combinación con el número de átomos que constituyen la combinación misma; pero la fórmula abstracta de Groshans contiene ciertos parámetros que hasta ahora solo empíricamente han podido fijarse y cuya significación precisa no queda, por tanto, establecida de modo satisfactorio.

Más moderna que la dirección estereoquímica, mucho menos extendida pero incomparablemente más fructífera es, sin duda, la dirección que hemos denominado *dinámica*, la cual arranca en realidad del momento en que se constituye la ciencia, denominada por Rankine *Energética*.

El problema que en ella se plantea es muy diferente del que pretende resolver la dirección estereoquímica.

En esta última se estudia la combinación ya formada, como un todo, como un sistema material en el que las *fuerzas existentes* traduzcan las acciones recíprocas de los elementos que forman la combinación, para *inducir* acerca de las fuerzas que existieron antes de que la combinación se verificara.

En aquella la combinación es considerada como un sistema estático ya construido, y en el que lo único que resta son las manifestaciones de este sistema en relación con tales ó cuales determinadas energías.

La dirección dinámica estudia la acción química en vivo, digámoslo así; pretende indagar las causas de esta acción, su relación con los demás procesos naturales y representando la magnitud de aquella acción por medio de otras magnitudes ya conocidas, somete á los principios de la doctrina de la equivalencia, los resultados obtenidos.

Si de estos estudios resulta que la acción química es en cada caso una magnitud dependiente de cierto número de variables, que la experiencia puede de antemano precisar, el estudio analítico de la función así hallada permitirá establecer leyes en vivo para la acción química y elevarnos del estudio de un grupo de reacciones al de las leyes que rigen la causa de las mismas.

Pensar, pues, que dado el carácter del problema, señalados los principios que han de servir para resolverlo, podamos prescindir de los procedimientos más delicados de investigación, tanto experimental, como matemática, es pensar un imposible. En estas alturas de la ciencia, la preparación de un compuesto, el análisis del mismo y el estudio de sus propiedades, son únicamente el material con que se construirá más tarde la ley que á un grupo de fenómenos preside, así como el hierro que sirve para fabricar una viga, la forma y propiedades de ésta no son otra cosa sino unos de entre los materiales que intervienen como factores en el cálculo de la construcción de un edificio.

Decíamos que esta dirección es moderna y así es en efecto.

Williamson, en 1851, es quien por vez primera protesta contra la corriente atómica de su tiempo y proclama que los principios de su teoría de la eterificación están fundados sobre la consideración del movimiento de los átomos.

Clausius, en 1857, aplica los principios de la teoría cinética á los fenómenos de descomposición química, y muestra cómo únicamente considerando los cuerpos como formados de partes en movimientos, es posible explicar la dependencia que existe entre la descomposición de un cuerpo y la temperatura á la cual se le somete. Y en esta misma dirección Hortsmann encuentra que la integral representada por la curva de probabilidad, es aplicable al caso de determinar la relación entre las moléculas disociadas y las no disociadas en función de la temperatura; sirviéndole este primer paso para

continuar después aplicando con gran fruto á la teoría de la disociación los principios de la teoría mecánica del calor.

Contemporáneos de estos puntos de vista son los trabajos que, siguiendo las huellas de Hess, realizaron Favre y Silbermann, y posteriormente Berthelot y Thomsen para determinar la equivalencia térmica de las acciones químicas.

No es el caso de discutir ahora prioridades, ni cuestiones de fecha. Es, sin embargo, indiscutible que solo á Berthelot, á quien la posteridad juzgará como á una de las primeras inteligencias de este siglo, se debe el que los principios de la termoquímica y sus aplicaciones más importantes hayan llegado á ser cuestiones de las que es imposible en absoluto prescindir aún en el más elemental estudio de la química.

Más explícito todavía y más radical acaso que Berthelot y Thomsen es Dellingshausen, al formular su teoría de la afinidad, en la que los equivalentes químicos son definidos como cantidades ponderales que poseen igual contenido de trabajo interior y en que la capacidad de combinación se atribuye á la naturaleza harmónica ó inharmónica de los movimientos intermoleculares de los cuerpos. Estos movimientos son para Dellingshausen la causa de las diferencias cualitativas que los cuerpos mismos ofrecen; y la superposición del movimiento calorífico de estos mismos cuerpos es lo que constituye, en definitiva, el fenómeno de la combinación.

Mas inútil fuera negarlo: los datos de la termoquímica, cuyo valor, como elemento de significación innegable en las acciones químicas, nadie puede desconocer, no encierran ni contienen en sí la explicación de la causa de la combinación misma, ni bastan, en modo alguno, para construir la teoría de las reacciones.

A medida que estos datos han sido más numerosos, se han encontrado anomalías inexplicables dentro del principio de la medida térmica de las acciones químicas.

La existencia de numerosas reacciones producidas con

absorción de calor, como las que dan origen á los éteres de ácidos orgánicos, por ejemplo; la contradicción que resulta muchas veces entre la energía térmica de un compuesto y su aptitud para sustituir ó desalojar á otro de una combinación; la posibilidad de que el calor sensible sea modificado por la variación en la estructura del sistema observado; el conocimiento más exacto cada día de la noción de entropía, y, finalmente, la necesidad de estudiar los cambios térmicos con los cuerpos disueltos, son motivos más que sobrados para que podamos decir como Lotario Meyer (1), que respecto de la explicación completa de los fenómenos químicos por medio de las acciones térmicas, «*hemos perdido una ilusión más,*» si bien hemos ganado en conocimientos sólidos y positivos.

Si durante muchos años ha permanecido en el olvido la idea capital de Berthollet, idea que constituye lo más fundamental de su tratado de *Estática química*, el tiempo transcurrido ha puesto en el lugar que le corresponde la trascendental doctrina que encerraba aquella obra magistral, dando, por consiguiente, á la afinidad la significación que á un concepto propio y substantivo corresponde.

La obscuridad de la exposición de Berthollet, obscuridad bien notada por Dumas (2), se ha disipado desde que en 1867 Guldberg y Waage (3), con puntos de vista análogos, expusieron una teoría fundada en la idea de Berthollet, dándola una correcta expresión algébrica, confirmada además por numerosos experimentos.

Ya Guldberg y Waage hacen notar la imposibilidad de estudiar térmicamente todas las reacciones en que el desprendimiento de calor es nulo, así como la necesidad imperiosa

(1) L. Meyer.—*Zeits. für Phys. Chem.* I, p. 144.

(2) Dumas.—*Philosophie chim.*, 1837, p. 378.

(3) Guldberg y Waage.—*Etudes sur les affinités chimiques*.—Christiania, 1867.

de estudiar las leyes de las reacciones que hoy pudiéramos llamar reversibles y capaces de engendrar, por la acción de causas exteriores, diversos estados de equilibrio entre dos reacciones opuestas. Berthelot y Pean de Saint-Gilles en 1862 formulan, por su parte, las leyes de la eterificación, como fenómeno susceptible de presentar un límite y de ser modificado en su duración por causas exteriores.

Pfaundler, más tarde, muestra que las reacciones químicas pueden ser recíprocas, y que por la influencia de la temperatura se engendran diversos estados de equilibrio en las acciones de la afinidad.

En este sentido Van t'Hoff estudia los fenómenos de la transformación química, el equilibrio químico en sus diversas formas é introduce la expresión simbólica exacta de este mismo equilibrio en las reacciones (1).

Las nociones obscuras de *masa química* son sustituidas por la de velocidad, introducida también por Van t'Hoff y expresada por el coeficiente diferencial de la cantidad de substancia engendrada con relación al tiempo en que se forma.

En esta dirección, en la cual merecen citarse los trabajos de Boquski como los que más claramente permiten percibir la significación de la velocidad química, se suceden, en el espacio de algunos años, numerosísimas investigaciones debidas á Ostwald, Van t'Hoff, Menschutkin, Lemoine, Warder, Lechatelier (2) y tantos otros, ya encaminadas á estudiar las causas que determinan el sentido de las acciones químicas, ya á determinar las condiciones del equilibrio químico en los fenómenos de disociación, descubrimiento maravilloso de Henry St. Claire Deville.

Paralelamente á esta dirección se desenvuelve otra fundada en la proporcionalidad entre las acciones químicas y eléctri-

(1) *Etudes de dynamique chim.*—Amsterdam, 1884.

(2) Ostwald.—*Lehrb. der allgem. chem.* II.

cas, que resulta de los fenómenos que Hittorf denominó «*emigración de los iones*» al rectificar lo erróneo de la interpretación dada por Berzelius á los fenómenos de electrolisis. Indicar, siquiera sea sumariamente, las consecuencias de la ley de S. Arrhenius, que establece la proporcionalidad entre la capacidad de combinación y la conductibilidad electrolítica de una substancia, sería empresa que no consienten los límites de este trabajo, ya sobrado largo. Baste indicar que entre éstas se hallan la determinación de la magnitud molecular de las sales, de la basicidad de los ácidos y de la capacidad de saturación de las bases, cuestiones todas que el método de Kohlrausch permite resolver con una caja de resistencias, el puente de Wheatstone, un teléfono y la solución de la substancia ensayada.

No insistiré en los resultados obtenidos por los dos métodos llamados por Ostwald, estático y dinámico, para apreciar debidamente los elementos que intervienen en la combinación química, métodos que el mismo Ostwald ha aplicado con gran éxito al estudio de las cuestiones de la mecánica química: me limitaré tan solo á consignar que los trabajos de Ostwald, de Van t'Hoff, los antes citados de Berthelot y Pean de Saint Gilles, Warder, Wilhelmy, Arrhenius y muchos otros, muestran que cada cuerpo posee un coeficiente de afinidad propio y característico, rigurosamente determinado, quedando así la afinidad, como Berthollet y Guldberg y Waage afirmaban, como una fuerza, como una capacidad de acción individual y determinada.

La afinidad es, pues, una energía propia, substantiva; y para medir la intensidad de sus manifestaciones, no hay, según exactamente afirma Ostwald, más que dos medios: ó compararla con otra fuerza conocida de la misma especie, determinando un estado de equilibrio, ó medir la velocidad de una reacción química producida por aquella fuerza.

He aquí el principio de los dos métodos denominados por

Ostwald respectivamente estático y dinámico, los cuales, como he dicho, confirman por igual la existencia de la afinidad como una capacidad de acción determinada y característica del cuerpo considerado.

Hasta qué punto las nuevas doctrinas encierran capital importancia, pruébanlo estos dos datos: las anomalías que ofrece el estudio termoquímico de la formación de ciertas sales, los cloruros, por ejemplo, y la imposibilidad de explicar ciertos estados de los cuerpos en las combinaciones, estados que la química analítica no descubre por los reactivos propios de aquellos cuerpos; estas anomalías desaparecen por completo tan luego como, de conformidad con las nuevas doctrinas, penetramos en el mecanismo de aquellas reacciones y en el estado real y efectivo de los cuerpos que en ellas toman parte.

Restaba solo encontrar enlace entre los fenómenos químicos y las variables de la termodinámica, para construir una teoría racional de los equilibrios químicos; y este último progreso ha sido realizado con verdadera genialidad.

J. Willard Gibbs (1), tomando como base las ecuaciones fundamentales de la termodinámica, que enlazan los valores de volumen, presión, temperatura, energía y entropía para un sistema dado, determina nuevas funciones de carácter analítico, resultado de las relaciones de aquéllas, y establece la definición del potencial químico. De estas definiciones resultan teoremas que permiten construir las ecuaciones del estado de un sistema dado, y de estas ecuaciones, á su vez, se deducen las condiciones de equilibrio del sistema.

Si á estos resultados, enriquecidos últimamente con trabajos importantísimos de Van der Waals, de Riecke y de otros, se enlazan las conclusiones ya citadas de la identidad de líquidos y gases y la analogía entre la función entropía de

(1) *Thermodynamischen stud.*—Übersetzt. von W. Ost. 1892.

gases y líquidos, se comprende sin dificultad el trascendental influjo que se halla destinada á ejercer esta dirección para el establecimiento de toda la teoría del equilibrio químico, provista así de fundamento riguroso. La experiencia, de otra parte, como lo prueban las observaciones de Raoult respecto de la relación entre el peso molecular de una substancia y el punto de congelación y la tensión de vapor de sus disoluciones, permite confirmar la aplicación legítima de la termodinámica á las cuestiones de la dinámica química de los sistemas heterogéneos.

La característica de esta dirección es compleja; y aunque la empresa de formularla es difícil, he de intentarlo para mostrar claramente su alcance.

Reconócese primeramente que el calor, la electricidad, las acciones mecánicas, los fenómenos luminosos, *pueden* traducir la virtualidad propia del fenómeno químico bajo el respecto de la ley general de la equivalencia; pero afirmase después que la afinidad es una causa propia peculiar, cuyos efectos *pueden* ser proporcionales á otros efectos, pero que *no lo son necesariamente*. La termodinámica ha disipado en este punto todas las dudas y ha mostrado claramente que el trabajo interno, el trabajo de disgregación, la entropía, la manera de enlazarse entre sí los elementos del sistema material, en una palabra, son factores indispensables cuya intervención en el fenómeno impide medir la afinidad por la mera cantidad de energía disponible que el fenómeno químico manifieste.

Muestra, además, la termodinámica, que el estado de un cuerpo se halla determinado por cinco cantidades, á saber: presión, volumen, temperatura, energía y entropía, de las cuales es imposible prescindir para establecer las leyes del fenómeno químico en todas sus manifestaciones.

La ley de la conservación de la energía no explica ni puede explicar un sinnúmero de fenómenos que penden del decremento del potencial de esta misma energía, de lo que ha

sido llamado «*disipación de la energía*,» de lo que hoy cabe denominar con más exactitud su *depreciación*. Esta depreciación, sin la cual el principio de la equivalencia llevaría forzosamente á reconocer la posibilidad del movimiento continuo, constituye el nudo de la interpretación de la mayor parte de los fenómenos de equilibrio químico.

Reseñar siquiera los trabajos que en la actualidad se ejecutan con el fin de resolver los múltiples problemas que surgen de este delicadísimo estudio, sería árdua empresa; analizarlos, imposible.

Baste indicar que existen hoy publicaciones numerosas y aún cátedras especiales destinadas á cultivar esta ciencia que Landolt ha llamado con gran exactitud «*química del porvenir*.»

Al lado de ésta, verdadera parte constructiva y sistemática de la ciencia química, en la cual cada fenómeno tendrá su ley y su expresión algébrica; en la que los datos empíricos de nuestro tiempo serán consecuencias forzosas de principios generales; en la que las anomalías y los hechos inexplicables de hoy aparezcan más tarde como deficiencias de nuestras teorías actuales; al lado de ésta, decimos, la química actual se halla destinada á ocupar un lugar secundario.

Completar una serie donde falta uno ó más términos; obtener por medios conocidos derivados de sustitución cuyas metamorfosis, desdoblamientos y caracteres están previstos de antemano; determinar puntos de ebullición y densidades, con errores de monta en los datos numéricos, é indicar las formas cristalinas y las solubilidades con una vaguedad nada recomendable; tal suele ser, salvo escasas excepciones, la labor del químico, cuando no consagra su vida y su ciencia á repetir los experimentos contenidos y descriptos en el primer tratado con el que hizo sus estudios.

Otros ideales laten en la ciencia contemporánea.

Precisión rigurosa en la observación, determinación precisa

en las constantes, crítica severa de las condiciones experimentales, profundo análisis de las relaciones que entre sí mantienen los elementos característicos de lo observado, cultura y saber físico, mecánico y matemático nada elemental; he aquí lo que supone el cultivar esta nueva fase de la química, destinada, á no dudarlo, á imperar dentro de muy corto tiempo sobre la química actual ó descriptiva.

Desde estas elevadas regiones será posible algún día encontrar el enlace de los fenómenos que constituyen el proceso químico con las leyes generales que rigen el Universo, realizando así una síntesis que forma hoy el objetivo supremo de nuestras aspiraciones.

Señalemos, pues, la aparición de esta nueva tendencia de la química como un hecho trascendental en alto grado; pues si la perfección de una ciencia particular es motivo de legítimo orgullo para el especialista, el más alto fin que la Razón humana cumple, es el de convertir en leyes propias los materiales dispersos del conocimiento histórico, al transformar una ciencia descriptiva en ciencia racional.

*
* *

Algo alejado está nuestro país del movimiento renovador que en esta como en todas las ciencias agita el pensamiento contemporáneo del mundo civilizado.

Formúlense por ello quejas, censuras y recriminaciones contra el cuerpo docente, sin pensar que acaso España es el único país en donde esta toga, codiciado emblema de un cargo honrosísimo, sirve tan solo como modesta mortaja, entre cuyos pliegues abandona este mundo, pobre y humildemente, el representante de la más alta función social.

Olvidase que una posición precaria, mas bien que modesta, siempre á merced de las agitaciones de nuestra inestable organización burocrática, no permite ciertamente conservar

aquella serena y tranquila placidez del espíritu, que es condición inexcusable de la investigación científica.

Desconócese que en otros países la ciencia pura tiene órganos, eco, mercado y recompensa, y que, por tanto, el medio social solicita allí con insistencia y acoge con amor los frutos preciados de la propia investigación.

No es esta, sin embargo, planta que en cualquier medio fructifique y prospere; y ya que no nos sea dable arraigarla como por ensalmo en nuestro país, ocupémonos de perfeccionar la obra de la educación según nos lo imponen los deberes sociales.

Estamos obligados los maestros á consagrarnos por entero al cultivo de la ciencia, cuya enseñanza nos está encomendada, trayendo, á lo menos, á nuestro país las reverberaciones del pensamiento que en otros pueblos se elabora. Tarea ruda, más difícil cada día y harto más penosa de lo que puede parecer á primera vista; pero tarea cuyo cumplimiento lleva en sí su propia recompensa cuando contribuye al progreso de la juventud.

Hállase ésta, por su parte, obligada á conservar cuidadosamente aquella pureza y rectitud en las intenciones, aquel amor á lo impersonal y trascendente, aquel altruismo generoso, condiciones inexcusables de una vida ideal, que, por desgracia, tantas veces se bastardea en la lucha y el comercio sociales.

Acuda á la Universidad en buen hora esa juventud, no en demanda de títulos, diplomas y habilitación oficial exclusivamente, sino en busca de ciencia y conocimientos serios; estimúlese en su amor al estudio y pida á sus Maestros la ciencia que ellos comunicarán de buen grado, y no olvide que la patria no tiene, en suma, más horizontes que los que descubren sus propios hijos.

Preparemos todos de esta suerte el momento en que nuestro país ocupe un lugar elevado en el concierto científico eu-

ropeo, empresa que, debidamente realizada, será señal de otros más prósperos días.

Porque no hay que olvidarlo.

Los pueblos en los cuales la Ciencia como función no posee una vitalidad y una energía propia, carecen de aquellos resortes movidos por una idea nacional que, vigorosamente acentuada, desborda á todas la manifestaciones de la vida.

Abrázanse tales pueblos á las augustas sombras del pasado, bien así como el anciano decrepito é infecundo, que busca en los recuerdos de su propia juventud el calor que no le es dado hallar en la de sus hijos; y extinguidos los gérmenes de una actividad creadora, en el concierto internacional, se doblegan; en la moral, se corrompen; en la ciencia, traducen; en la literatura, imitan; en la industria, revenden; en la lucha, desfallecen.

HE DICHO.

UVA. BHSC. LEG 23-1 n°1743

UVA. BHSC. LEG 23-1 n°1743