

ELEMENTOS Y META-ELEMENTOS *

POR WILLIAM CROOKES.

En lenguaje dinámico, un átomo solo puede moverse de una posición de un potencial más elevado á una posición de un potencial menos elevado; si el átomo ha tenido un principio, debe haber sido, pues, en donde el potencial ha sido máximo, esto es en los confines del Universo ponderable, y si tiene un fin, debe ser en donde es mínimo el potencial, esto es, en el centro de las estrellas cuyas dimensiones pasan de cierto límite. Así es que la extinción de la parte central de una estrella cuando aumente más allá de cierto punto, es la causa que limita las dimensiones que esa estrella puede alcanzar atrayendo hacia sí la materia ambiente, y esta asignación de los puntos de origen de los átomos químicos y de aquellos en donde encuentran un fin parece ser la única ó casi la única conclusión que hasta aquí podemos formular con confianza ¹.

* Conclusión, véase la página 136.

1 Esa importante sugestión y otras ideas las debo á mi amigo Sir J. Johnstone Stoney, M. A., F. R. S., quien ha publicado en el *Times* del día 4 de abril de 1888 la explicación siguiente sobre este punto: Si la Naturaleza ha creado de un modo cualquiera los átomos de materia imponderable, es seguro que han sido atraídos al interior, dirigiéndose hacia el resto de la materia ponderable del Universo, y por consiguiente han debido tener su origen en un punto situado más allá de aquellos por los cuales han pasado durante su camino. Podemos admitir también, que cuando menos, algunos de los átomos se han formado en los confines del espacio ocupado por la materia ponderable ó quizá más allá, y es cierto que su extinción, si alguna vez ocurre tendrá lugar en el potencial mínimo que pueden alcanzar, esto es, en el centro de la estrella más grande.

¿Creeis acaso que se ha inventado gratuitamente un límite para el Universo á fin de hacer viable esta teoría; habeis olvidado lo que nos enseñan las demás ciencias, las cuales con la Química, nos conducen al conocimiento de la Naturaleza? La Astronomía tiende á enseñarnos que el Universo tiene límites: sabemos que las estrellas que componen nuestra Vía Láctea, nuestro Sol y todas las estrellas que vemos durante la noche, forman un grupo separado. Es, ciertamente muy posible, y los hechos conocidos á propósito de la nebulosa de Andromeda lo hacen probable, que existan otros grupos de estrellas tan numerosos como los que vemos en la Vía Láctea, situados por encima de nuestro cielo visible. El espectroscopio revela que aquella gran nebulosa está compuesta de estrellas, aun cuando, debido á su extraordinaria distancia no podamos verlas separadas con auxilio de telescopio alguno, y su luz colectiva es casi igual á la de la Vía Láctea; en otros términos aquellas estrellas presentan sensiblemente la apariencia que tendrá nuestro gran grupo de estrellas visto desde una distancia igual.

La Astronomía viene en nuestro apoyo respecto del lugar donde pueden ser destinados los átomos: las estrellas no todas tienen iguales dimensiones, hay un límite definido de cual no esceden; la variedad de sus dimensiones es semejante á las que se encuentran entre las piedras de un camino pedregoso; no las hay, comparándolas con las demás que sean montañas ó montículos. Existe, pues, en la materia alguna causa que pone término á este crecimiento, y si los elementos químicos encuentran un fin en alguna parte, nos damos cuenta perfectamente del límite de las dimensiones de las estrellas.

Según los principios de Dinámica, la extinción de un átomo solo se puede producir cuando alcanza su posición al potencial mínimo, y esta posición es el centro de la estrella más grande, lo que me ha parecido apoyaba la hipótesis que pretende que en la Naturaleza hay hechos que convierten la energía radiante en energía almacenada en la materia ponderable, contradiciendo así la otra hipótesis, muy improbable, que supone que el Universo entero resultará inmóvil ó inerte á consecuencia de la distribución uniforme ó de la disipación completa de esta energía.

Por los anteriores ejemplos se ve que los átomos constitutivos de estas mo-

léculas es posible que no hayan sido dotados desde su origen exactamente de la misma velocidad ó amplitud de vibración. Consideremos la molécula de cierto grupo y representemos la forma de energía que tiene por factor lo que llamamos el peso atómico, por el número 35,5. De lo precedentemente dicho resulta que mientras la gran masa de los átomos que componen la molécula tienen este peso atómico, una pequeña proporción puede diferenciarse de este número en el límite de una cifra decimal y otras de una unidad entera, de un lado ó del otro de la media.

Los átomos últimos cuyas velocidades no son exactamente 35,5 sino un poco más ó un poco menos, se reúnen alrededor del nudo 35,5, formando un grupo cuyo valor medio será 35,5. Del propio modo se formarán otros grupos que tendrán por valores medios 80 y 127, mientras que los espacios intermedios se ensancharán, puesto que los átomos últimos que ocupaban estos espacios abandonados son atraídos por el grupo del cloro, del bromo y del yodo. Semejantes grupos representan lo que hoy llamamos elementos; pero en mi opinión pueden ser considerados como formas de un elemento y de cierto número de meta-elementos; ó bien cada uno de ellos puede estar formado de un grupo de meta-elementos, de los cuales ninguno de ellos tiene una real preponderancia sobre los otros.

Pero en seguida nos encontramos con una objeción enunciada con mucha claridad por Clerk Maxwell en su Teoría del calor, 1871.

«No creo, dice el eminente físico, que la perfecta identidad que observaremos entre diferentes porciones de la misma especie de materia pueda explicarse por los principios estáticos de la estabilidad de las medias de los grandes números de cantidades susceptibles de diferir cada una de la media. En efecto, si entre las moléculas de una sustancia, tal como el hidrógeno, algunas tuviesen una masa superior á las otras, como poseemos los medios de separar las moléculas de diferente masa, podríamos obtener dos especies de hidrógeno, una de ellas algo más densa que la otra. Y como esto no es posible, debemos admitir que la diferencia que afirmamos existe entre las moléculas de hidrógeno se aplica á cada molécula individualmente y no solo á la media de grupos de millones de moléculas.

Las moléculas de una misma sustancia son todas exactamente semejantes entre sí; pero difieren de las moléculas de las demás sustancias. No hay gradación regular en la masa de las moléculas, desde la del hidrógeno, que es la más ligera entre las que conocemos, hasta la del bismuto; pero están todas contenidas en un número limitado de clases ó de especies, pues los individuos de cada especie como son exactamente semejantes entre sí, no se encuentra anillo intermedio alguno para relacionar una especie con otra por una gradación uniforme.

No obstante, en el caso de moléculas, cada individuo es permanente; no hay generación, ni destrucción, ni variación, ó mejor dicho, ni diferencia entre los individuos de cada especie.

Nuestras moléculas no se pueden alterar por ninguno de los medios empleados en la actualidad y todos los individuos de cada especie son exactamente de la misma magnitud que en el caso se hubieran fundido en el mismo molde, como bolitas, en vez de haberse elegido y agrupado sencillamente según sus dimensiones como balas pequeñas.»

Considero evidente que estas teorías, algunas de las cuales implican mucho atrevimiento, ya no están conformes con los hechos, pues nos encontramos hoy con variaciones entre las propiedades de ciertas moléculas hasta

aquí consideradas como idénticas entre sí. Examinemos por ejemplo, el caso del itrio: este cuerpo tenía un peso atómico bien determinado, se conducía bajo todos conceptos como un elemento, al cual, ciertamente se podía agregar, pero del cual nada se podía restar. Sin embargo, este itrio, este conjunto supuesto homogéneo, sometido á cierto método de fraccionamiento, se halla repartido en porciones que no son idénticas y que revelan una gradación de propiedades.

Tomemos aún otro ejemplo, el del didimio: he aquí un cuerpo que poseía todas las características de un elemento. Con grandes dificultades se había separado de otros cuerpos, cuyas propiedades eran muy semejantes á las suyas y, durante ese tiempo, se le había sometido á un tratamiento muy severo y á un riguroso exámen. En resumen, hasta poco tiempo ha, hemos podido decir exactamente del didimio lo que Clerk Maxwell dice del hidrógeno, que la diferencia que nosotros afirmamos existe entre las moléculas del didimio se aplica á cada molécula individual y no solamente á la media de los grupos de millones de moléculas. Pero vino luego otro químico, el doctor Auer de Welsbach, que aplicó á este cuerpo supuesto homogéneo, un procedimiento de fraccionamiento particular y lo dividió en praeseodimio y neodimio, dos cuerpos entre los cuales se descubren ciertas diferencias. Más aún, no estamos seguros todavía que el neodimio y el praeseodimio sean cuerpos simples; por el contrario, parecen ofrecer síntomas de división.

Pero si, á consecuencia de un tratamiento conveniente, se encuentra que un cuerpo hasta aquí considerado como elemento, contiene moléculas disímiles, estamos evidentemente autorizados para preguntarnos, si sucederá lo mismo con otros cuerpos considerados como elementos, y quizá con todos si se les somete á un tratamiento conveniente. Y podemos también preguntarnos en dónde termina esta serie de selecciones, serie que supone evidentemente la existencia de variaciones entre las moléculas individuales de cada especie.

Como resultado de estas sucesivas separaciones nos encontramos en presencia de cuerpos que se aproximan cada vez más unos de otros. El doctor Auer de Welsbach, el autor del descubrimiento del neodimio y del praeseodimio, observa que *estos cuerpos están más próximos uno del otro que dos cualesquiera de los cuerpos hasta aquí conocidos*. Nos aproximamos cada vez más á una gradación regular en las moléculas ó al reconocimiento de estos anillos intermedios que yo he llamado *meta-elementos* ó *elementoides*. Y aquí se impone una reflexión: quizá es debido á la presencia de estos meta-elementos, que haya tantos elementos químicos que se aproximen tan de cerca en sus pesos atómicos de los valores indicados por la ley de Prout, se diferencian de ellos en una cantidad muy pequeña, pero sensible. Dificilmente podemos considerar esta aproximación como puramente accidental.

Llegamos ya á la última objeción presentada por Clerk Maxwell á la hipótesis que los elementos no son absolutamente homogéneos. «Es difícil, escribe, admitir la selección y la eliminación de variedades intermedias porque no se sabe dónde se hallarán estas moléculas eliminadas, si, como tenemos motivos para creer, el hidrógeno, etc., de las estrellas fijas está compuesto de moléculas idénticas á las nuestras bajo todos conceptos.»

En primer lugar ponemos en duda esa identidad molecular absoluta, puesto que, hasta aquí, no tenemos otro medio para llegar á una conclusión que los procedimientos espectroscópicos, y admitimos que para comparar y distinguir fielmente los espectros de dos cuerpos se han de examinar en estados

idénticos de temperatura, de presión y de todas las demás condiciones físicas.

Ciertamente, en el espectro del Sol hemos visto rayas que no nos ha sido posible identificar.

Hemos supuesto el ciclo cósmico, volviendo á pasar en períodos sucesivos, durante un descenso de temperatura, por la misma región, por ejemplo la en que el cloro, el bromo y el yodo se han formado. Si la mayor parte de los elementos actuales se aproximan más ó menos de los números 35,5, 80 y 128 de los pesos atómicos de estos tres cuerpos, sería fácil señalarles su lugar. Pero puede haber además algunos átomos intermedios que tengan pesos atómicos comprendidos entre 36 y 39 y entre 81 y 126. Estos átomos serán atraídos hacia las masas por un lado ó por otro del recorrido cíclico. Del propio modo podemos imaginar átomos sueltos, exparcidos tan lejos de la línea central del camino que se hallan á la mitad del mismo entre el cloro y el bromo, ó entre el bromo y el yodo; es probable que estos cuantos viajeros se recogerán poco á poco y gravitarán hacia el cloro, el bromo ó el yodo; hemos de tenerlos en cuenta, no podemos eliminarlos.

Por otra parte es posible que estos mismos átomos elementales no sean hoy los mismos que cuando fueron engendrados; en efecto, si un átomo ha comenzado su existencia en cierta época, si puede atravesar vicisitudes tales que pueda dejar de existir, parece probable cuando menos que sea capaz de experimentar un cambio interno.

Sin duda estas vicisitudes solo afectan directamente los movimientos primarios que constituyen la existencia del átomo; pero afectan indirectamente y en pequeño grado tan solo estos movimientos secundarios que producen todos los efectos que podemos observar, efectos químicos, caloríficos, eléctricos, etc.

De modo que, mientras la vida de un átomo puede desaparecer á consecuencia de los diferentes tratamientos á los cuales se ha sometido, puede también permanecer del mismo modo que en su origen; quizá la diferencia sea muy poca, de suerte que puede haber átomos originariamente semejantes, que procedan de diferentes minerales recogidos en estaciones muy separadas entre sí, pueden haber tenido una historia suficientemente distinta para llegar á ser del todo diferentes con respecto de los movimientos primarios que escapan á nuestra observación; y á consecuencia de la pequeña influencia ejercida en los movimientos secundarios por los cambios en los movimientos primarios, estos átomos pueden presentar una diferencia tan solo perceptible en nuestros experimentos. Bajo este punto de vista un elemento raro, como una planta ó un animal raro, es un elemento que no se ha podido desarrollar en armonía con los medios que le rodeaban.

Estas ideas se prestan naturalmente á los hechos que encontramos en nuestros experimentos de fraccionamiento. En donde todos los átomos últimos tienen velocidades de vibración idénticas, todo fraccionamiento es imposible; por el contrario, donde esas velocidades no son iguales, el procedimiento da buen resultado, tanto más cuanto mayores son las diferencias entre las velocidades de vibración de los átomos últimos.

Los cuerpos así divididos se aproximan mucho necesariamente unos de otros, y cuanto más se adelanta en nuestro fraccionamiento menores diferencias se observan.

Pero cuando examinamos la serie de los elementos distribuidos según la

curva que he adoptado, conforme á la del profesor Emerson Reynolds para ilustrar una memoria sobre el Génesis de los elementos, leída en la sección de química de la Asociación británica, sesión de Birmingham, nos sorprende una consideración que, en el primer momento, parece absolutamente fatal á la hipótesis de la producción de elementos procedente de una seria de nudos, según acabamos de indicar. Si el elemento que llamamos aluminio estaba formado de átomos últimos, con velocidades de vibración de 27 (poco más, poco menos, de modo que dé una media de 27) y si los átomos comprendidos en la seria entre el aluminio y el elemento siguiente habían sido atraídos por uno ú otro lado, dejando un vacío, debería suceder que sus propiedades no difirieran mucho entre sí, ó cuando menos presentar considerables analogías; tal sucede hasta cierto punto en el caso actual. Después del aluminio viene la sílice: quizá podemos considerar estos dos elementos como resultados de selección de una multitud casi homogénea de elementos últimos. Pero, si avanzamos en nuestra curva, cuáles son los elementos siguientes? El fósforo, el azufre y el cloro, cuerpos heterólogos y heterólogos con la sílice. Difícilmente podemos imaginar átomos primitivos, no conociendo hacia la cual de las dos aglomeraciones deberían dirigirse, la sílice ó el fósforo; del propio modo nada podemos concebir que, procedente del fósforo, tenga el menor parentesco con el cloro. Sin embargo, paréceme que estas dificultades son más aparentes que reales: en la conferencia de Birmingham dije á mis oyentes que se representaran la acción de dos fuerzas obrando sobre el protilo primitivo, una *el tiempo* acompañado por un descenso de temperatura, la otra, oscilante como un péndulo poderoso, con períodos de descenso y de elevación, de reposo y de actividad, íntimamente ligada á la materia ponderable, esencia ó manantial de energía que nosotros llamamos *electricidad*. Con semejante comparación alcanzamos nuestro objeto si fija en el espíritu el hecho particular que nos proponemos evidenciar, pero no hay que esperar que se pueda aplicar exactamente á todos los hechos. Además del descenso de temperatura, del flujo y reflujó periódico de electricidad positiva ó negativa, necesaria para dotar los elementos nacientes de su atomicidad, es evidente que debemos tener en cuenta un tercer factor. La naturaleza no obra sobre una superficie plana, quiere espacio para sus operaciones cosmogénicas, y, si introducimos el *espacio* como tercer factor, todo resulta claro.

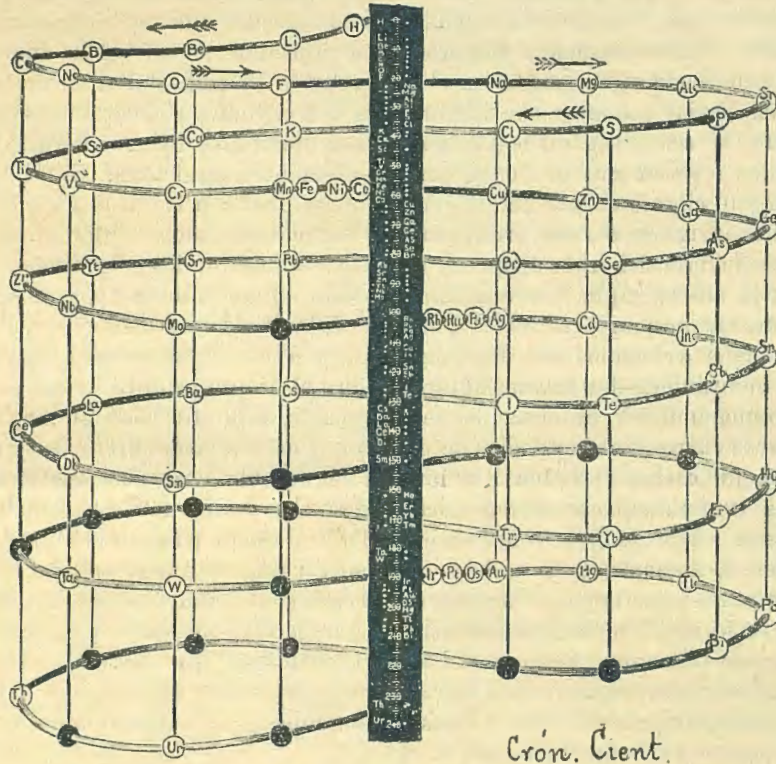
Para representar lo que me figuro sucede, supongamos un diagrama en zigzag, no trazado sobre un plano, sino proyectado en el espacio en tres dimensiones. ¿Y qué figura podemos elegir mejor para satisfacer todas las condiciones indicadas?

Con la curva en espiral del profesor Reynolds se pueden explicar algunos hechos pero es inaceptable ya que la curva ha de pasar en cada ciclo por un punto neutro, bajo el punto de vista de la electricidad y de la energía química. Hemos de adoptar, pues, otra figura. La figura de un ocho ó de una lemniscata se proyectará en zigzag del mismo modo que una espiral y satisfará á todas las condiciones del problema. Semejante figura resultará de tres movimientos simultáneos muy sencillos: primero de una simple oscilación hacia atrás y hacia adelante—por ejemplo Este y Oeste—; luego de otra formando ángulos rectos con la precedente—por ejemplo Norte y Sud—, de la mitad del período, esto es, de una velocidad doble; y, por último, un movimiento descendente que, en su forma más sencilla, será de velocidad constante ¹.

1 El primero de estos movimientos, está representado en su expresión matemática más sencilla por $x = a \text{ sen } (mt)$; el segundo por $y = b \text{ sen } (2 mt)$, el tercero por $z = ct$.

Si proyectamos esta figura en el espacio el examen nos indica que los puntos de las curvas donde se forman el cloro, bromo y yodo se hallan superpuestas; lo propio ocurre con respecto del azufre, selenio, telurio; lo mismo todavía para el fósforo, arsénico y antimonio, al igual que con otras series de cuerpos análogos.

Cabe preguntar si este sistema explica *cómo* y *por qué* aparecen los elementos siguiendo este orden? Imaginemos una traslación cíclica en el espacio, cada revolución originando el grupo de elementos que primitivamente había



representado como producido durante una oscilación completa del péndulo. Supongamos un ciclo completado de este modo y que el centro de la fuerza creadora desconocida, ha sembrado, durante su importante viaje á través del espacio, los átomos primitivos, las semillas, si puedo emplear semejante expresión, que actualmente han de unirse y desarrollarse en grupos conocidos en la actualidad con el nombre de litio, glucinio, yodo, carbono, nitrógeno, oxígeno, fluor, sodio, magnesio, aluminio, sílice, fósforo, azufre y cloro.

¿Cuál es, probablemente la forma del camino ahora seguido? Si fuera estrictamente conforme á los mismos datos de temperatura y de tiempo, los grupos elementales siguientes habrían sido aún los del litio y se habría repetido eternamente el ciclo primitivo, produciendo siempre los mismos catorce elementos. Pero estas condiciones no son exactamente las mismas: el espacio y la electricidad continúan del mismo modo, pero la temperatura ha cambiado, de modo que en vez de haberse aumentado los átomos del litio con átomos análogos, los grupos atómicos que aparecen cuando comienza el segundo ciclo ya no forman el litio, sino su descendiente en línea recta, el potasio.

Supongamos, pues, el tornillo generador recorriendo las dos direcciones, en ciclos, un camino lemniscata, mientras que, al propio tiempo desciende la temperatura y transcurre el tiempo; cada vuelta del camino lemniscata atraviesa la misma línea vertical en puntos cada vez más bajos. Proyectada en el espacio la curva da una línea neutra central mientras se trata de electricidad y neutra en propiedades químicas—electricidad positiva al Norte, negativa al Sud. Las atomicidades predominantes están dirigidas por las distancias Este y Oeste de la línea neutra central, los elementos mono-atómicos se hallan separados por una unidad de distancia, los diatómicos por dos, y así sucesivamente ¹.

En todas las sinuosidades sucesivas rige la misma ley. A medida que avanza el poderoso foco de energía creadora, le vemos en ciclos sucesivos sembrar en una región del espacio semillas de litio, de potasio, de rubidio y de cesio; en otra, el cloro, el bromo y el yodo; en una tercera, el sodio, el cobre, la plata y el oro; en una cuarta, el azufre, el selenio y el telurio; en una quinta, el glucinio, el calcio, el estroncio y el bario; en una sexta, el magnesio, el zinc, el cadmio y el mercurio; en una séptima, el fósforo, el arsénico, el antimonio y el bismuto; en otras regiones, el aluminio, el galio, el iridio y el tulio; el silicio, el germanio y el estaño; el carbono, el titanio y el zirconio; mientras que se encuentra una posición natural, cerca del eje neutro, para los tres grupos relegados por el profesor Mendelejeff en una especie de hospital para incurables,—su octava familia.

Hemos indicado la formación de los elementos químicos de nudos y vacíos ó huecos en un fluido primitivo y sin forma; hemos demostrado que es posible, mejor dicho, probable, que los átomos no tienen una existencia eterna, sino que participan con todos los demás seres creados las atribuciones de la decrepitud y de la muerte con argumentos obtenidos en el laboratorio de Química; hemos demostrado que en la materia indicada como elemento por todos los reactivos hay pequeñas variaciones de diferencias que permiten la selección, del propio modo hemos visto que la distinción largo tiempo en voga entre los elementos y los compuestos no se halla á la altura del desarrollo de la ciencia química y que ha de modificarse para que pueda comprender una serie de cuerpos intermedios, los *meta-elementos*, y, finalmente, he expuesto mis razones que me permiten creer que la materia primitiva se ha formado por la acción de una fuerza generadora que proyecta á intervalos de tiempo, átomos dotados en cantidades variables, de las formas primitivas de la energía.

Del propio modo que establecemos hipótesis con relación al manantial de energía almacenada en un átomo químico, creo podemos adelantar que las radiaciones caloríficas propagadas á través del éter, por la materia ponderable del Universo —gracias á alguna acción de la naturaleza que no es desconocida

1 En la curva representada en la figura adjunta se ha supuesto que los elementos siguen á distancias iguales á lo largo de la espiral lemniscata. La escala vertical está dividida en 240 partes iguales, en las que se han señalado los pesos atómicos desde H = 1 hasta Ur = 239. Cada punto redondo representa un elemento y se halla exactamente al nivel de su peso atómico en la escala vertical. Obsérvase que, exceptuando uno ó dos, todos los metales se hallan hacia el lado Norte. Los elementos ausentes están representados por puntos negros. Algunos elementos dudosos, el didimio, samario, erbio, holmio y el tulio, están colocados en posiciones forzadas por los pesos atómicos que ordinariamente se les asigna, pero basta una simple inspección para ver que no tienen derecho á ocupar el lugar que ocupan.

aún—, son transformadas en los confines del Universo en movimiento primitivo esencial de átomos químicos; una vez formados gravitan hacia el interior y devuelven de ese modo al Universo la energía que, sin esta restitución se habría perdido por él mismo debido al calor radiante. Si esta conjetura está bien fundada la aterradora predicción de Sir William Thomson acerca la descomposición final del Universo por la disipación de su energía, no tiene fundamento alguno.

Tal es, me parece, la manera como puede ser tratada provisionalmente la gran cuestión de los elementos; nuestros escasos conocimientos acerca de estos primeros misterios, van aumentando con regularidad, lentamente, pero con paso seguro. Mientras ciertos químicos apasionados someten al ensayo, por los métodos de fraccionamiento, la teoría comunmente aceptada de la homogeneidad de los elementos, hay otros que, por medio del espectroscopio dan el asalto bajo otra forma; cada trabajador se apoya en una idea diferente para descubrir el secreto. Continúen valerosamente estas investigaciones, aun cuando, ya se, que sea cual fuere su naturaleza, no pueden conducir directamente á resultado alguno industrial.

LA QUÍMICA DESCRIPTIVA Y LA QUÍMICA RACIONAL *

POR EL DR. D. LAUREANO CALDERÓN

Catedrático de la Universidad de Madrid

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 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.

El 23 de julio de 1847, Hermann Helmholtz afirma ante la Sociedad de 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 pormenor, 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

* Conclusión, véase pág. 404.

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 algebraicamente; 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 sistematizará 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 aquéllas. 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 *a 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 este 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

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

«Cristal es un cuerpo sólido homogéneo, cuyas propiedades físicas varían según leyes de simetría con la dirección,» dice Schoenflies

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 Neumann 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.

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 dá 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, cual 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 las cuales las fuerzas de atracción y de repulsión de las partes componentes se hallaban en equilibrio. Pero Segrer, 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, Lütge y Dubois Reymond.

Apuntaré aquí, no más que incidentalmente, que De Heen, Grimaldi, Spring, Konovalow, Buchanau, Ramsay y ultimamente Vant'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 substancias 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 fluidos, 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 Kronig, 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 en esta teoría el más admirable monumento construido 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, trayectorias, 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 legítimo 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 Vant'Hoff en el estudio de los fenómenos de la presión osmótica. Las ecuaciones diferenciales de la termodinámica permiten á Vant'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 por 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 les 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 ésta 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 ésta, 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 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. Por esto puede afirmarse que el *monismo* de Toland, 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. 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 había ya que agradecerle: pero su influencia ha ido 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, inmovil, 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 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 consentan conocer cuál sea aquél 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 decir 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, substancialmente consideradas, no nos son cognoscibles.

Mas si, según decía antes, el sistema dinámico, cualquiera que él sea, posee un contenido, una cantidad que le es propia y peculiar, esta es precisamente 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 estados 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 Barnot 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 aún 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, 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 resul-

tados 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 contrarrestarlas, 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 legítima 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, Cardán, 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 agena á toda cuestión en la que se debatiera otra cosa que la cualidad de los objetos materiales, buscando en esta cualidad más bien el germen 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 ésta, 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 apodicticamente 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 construido; 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 *a priori* en el espacio, desideratum el 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 *a 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».

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 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.

Kant y Gerhardt pudieron pensar que se hallaba muy lejos el momento en que aquellos ideales fueron, 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 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.»*

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.»*

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 observados, pero que deja siempre lugar á la duda legítima 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, fórmulanse 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 éste que solo puede ser aplicado en la medida en la 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 el 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 las ciencias fisico-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, 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 él 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, los 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 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. Inspirase esta dirección en aquella intuición admirable de Laplace, 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 cabría en los límites de este trabajo la enumeración de los tratados, que desde un punto de vista más especial, han contribuido poderosamente á formar también la parte general de la química, el organismo de sus principios fundamentales.

Consigamos 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 ley de Woestyn, referentes al calórico específico de las combinaciones, completas 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 estos 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 mismas 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 éstos 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, si, 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, Kettler 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 la forma analítica por Flawytzki. Las concordancias de propiedades entre ciertos elementos previstos por la teoría y determinados cuerpos descubiertos más tarde, como el *galio*, el *germanio* y el *escandio*, han dado nuevo valor á las que en otros tiempos pudieron creerse analogías fortuitas y sin trascendencia.

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.

Más si en los albores de la química de los compuestos de carbono, el descubrimiento de las séries 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 cuales 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 color, etc., se hallan condicionadas por circunstancias que en la actualidad nos son completamente desconocidas 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 *Energetica*.

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

Más explícito todavía y mas radical acaso que Berthelot y Thomsen es Dellignehausen, al formular su teoría de la afinidad, en la que los equivalentes químicos son definidos como cantidades ponderales que posee 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 Dellignehausen 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 inesplicables, 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 ó 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 eutropia, y finalmente, la necesidad de estudiar los cambios términos con los cuerpos disueltos, son motivos más que sobrados para que podamos decir como Lotario Meyer, 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, se ha disipado desde que en 1867 Guldberg y Waage, con punto de vista análogos, expusieran 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 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 de 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 Vant'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.

Las nociones obscuras de *masa química* son substituidas por la de velocidad, introducida también por Vant'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, Vant'Hoff, Menschutkin, Lemoine, Warder, Lechatelier 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 eléctricas, 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. 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 Vant'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.

Hé 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 ella toman parte.

Restaba sólo 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, 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 aquellas, 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, der 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 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 decrecimiento 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 del equilibrio químico.

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, profundos 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 dudarle, 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.

LA ANOTACIÓN DE 24 HORAS

Hemos recibido varios documentos publicados por la «American Society of civil Engineers», sobre la *general adoption of the twenty-four-o'clock notation on the railways of America*, en los cuales se hace gran propaganda para vulgarizar la anotación de las 24 horas, suprimiendo las indicaciones de mañana, tarde y noche, que originan muchas veces no poca confusión.

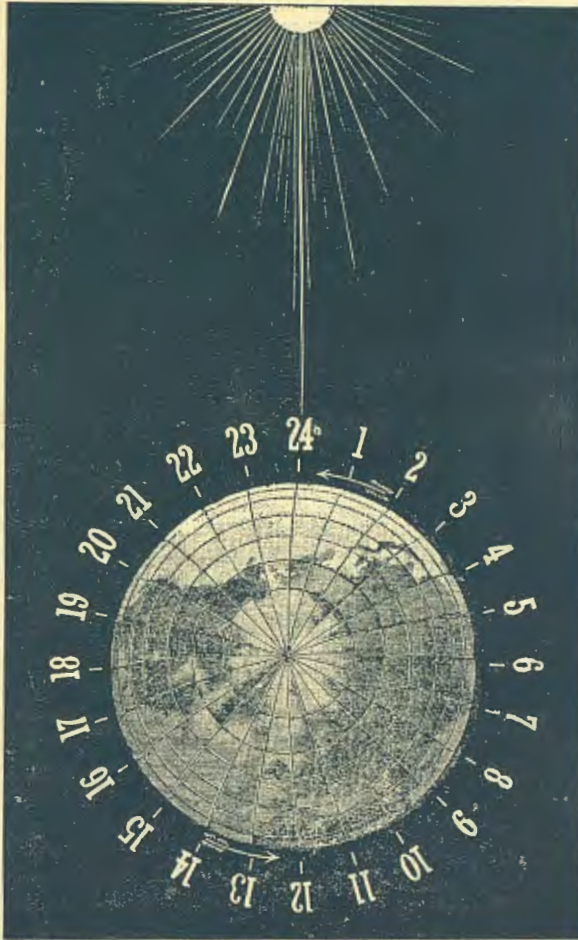
En la asamblea general celebrada por aquella Sociedad en el corriente año, se acordó lo siguiente: considerando que los diferentes dictámenes del comité espe-

cial para uniformar el tipo de la hora están de acuerdo para reconocer que el nuevo sistema ha hecho grandes progresos en los tres continentes de América, Asia y Europa;

Considerando que las compañías ferroviarias de América fueron las primeras en reconocer el valor de la reforma y llevar a la práctica el sistema de la zona horaria;

Considerando que todas las corporaciones científicas, ingenieros y entidades eminentes están á favor de la pronta adopción de las 24 horas;

Considerando que sería conveniente poner en uso dicho sistema horario en la administración de ferrocarriles de todo el país, dentro del presente año;

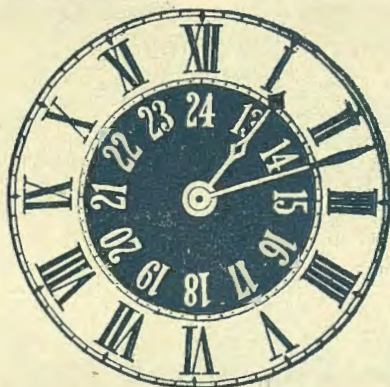


Considerando que las costas del Nuevo Mundo fueron descubiertas por vez primera por Colon en 12 de octubre de 1492, y considerando que la notación de 24 horas es esencialmente italiana en su origen histórico y que sería una atención para la tierra en que nació el ilustre navegante adoptar este sistema horario, con motivo del cuarto centenario del descubrimiento de América;

Se acuerda invitar á todas las compañías de ferrocarriles de los Estados Unidos, Canadá y Méjico para que á partir del día 12 de octubre de este año adopten en todos sus servicios la anotación de 24 horas.

Hé aquí las ventajas del nuevo sistema: se elimina de una vez el A. M. y P. M.; se simplifican los itinerarios de ferrocarriles; se evitan toda clase de dudas, se facilitan las operaciones; se hace absolutamente clara la trasmisión de órdenes en el servicio de trenes; se disminuye la posibilidad de equivocaciones; aumenta la seguridad del público; se puede establecer fácilmente; se ha ensayado con buen éxito durante 5 ó 6 años; está ya en uso en una longitud de 20.000 millas de líneas férreas, y se hallan de acuerdo compañías, propietarios é ingenieros que representan 140.000 millas de ferrocarriles; el público acepta el cambio de buen grado en donde se adopta para el servicio de las líneas férreas.

Para aprovechar las antiguas esferas de los relojes basta poner en el centro una intra-esfera de papel donde figuran las 12 horas complementarias, tal como representa el adjunto dibujo.



AVISO A LOS SEÑORES SUSCRITORES

Deseando introducir algunas mejoras y modificaciones en la publicación de la *CRÓNICA CIENTÍFICA*, en estudio con una importante casa editorial de esta ciudad, oportunamente comunicaremos á los señores suscritores las condiciones de publicación de la Revista en su segunda época.

CRÓNICA

Descubrimiento del Hipopótamo fósil en Tarrasa.—En uno de los pozos abiertos en Tarrasa, se han encontrado restos fósiles de un Hipopótamo plioceno de talla doble de la del actual, de un elefante, de un caballo de gran talla, de un oso y de rumiantes pliocenos y miocenos.

La velocidad de la sangre.—Si se cuenta por término medio 70 pulsaciones por minuto, se ve que en veinticuatro horas hay $70 \times 60 \times 24 = 100.800$ sistoles cardiacos. Si se quiere saber cuántas veces una molécula dada de la sangre recorre en veinticuatro horas el ciclo total de la circulación, hay que limitarse á valuaciones aproximadas. El Sr. Matias Duval, considerando que cada sistole del ventrículo izquierdo lanza á la aorta aproximadamente 180 gramos de sangre, y que la masa total de la sangre es de 5 kilogramos, dice que son necesarias de 25. á 30 pulsaciones para que un glóbulo que haya salido del ventrículo izquierdo vuelva á él. La sangre recorre, pues, el ciclo circulatorio total aproximadamente dos veces por minuto ó $2 \times 60 \times 24 = 2.880$ en veinticuatro horas. Respecto á la velocidad de la sangre en los vasos, recordemos que es de 1 milímetro por segundo en los capilares de la rana; en el origen de la aorta, donde alcanza su maximum, no pasa de 0,50 metros.

ÍNDICE METÓDICO POR ORDEN DE MATERIAS

MATEMÁTICA

Demostración del teorema de Cauchy aplicado á las ecuaciones de segundo grado; *Correa Ramirez*, p. 5.—Comparación de los métodos de Newton y Lagrange para la aproximación de las raíces incommensurables de las ecuaciones de grado superior; *Espinal*, p. 155, 169.—Estudio de una integral; *Clariana y Ricart*, p. 97.—Funciones elípticas; *Clariana y Ricart*, p. 321.

ASTRONOMÍA

Hora universal; p. 203.—Unificación de la hora en Bélgica; p. 240.—Nuevos planetas; p. 240.—Temperatura media del suelo de la Luna; p. 305.—Formación de los circos lunares; *Schwarz*, p. 376.—Expresiones numéricas relativas á la teoría de los satélites de Júpiter; *Landerer*, p. 345.—El aereolito más grande del mundo; p. 391.—Meteoro en Huesca; p. 320.—Refranes sobre meteorología y astronomía; *Puente*; p. 23, 112.—Observatorio en el Montblanc; p. 168.—Lentes objetivas; p. 392.

FÍSICA

Navegación aérea; p. 255.—Influencia de la velocidad del viento, la radiación solar y el estado eléctrico del aire en el fenómeno de la evaporación; *Houdaille*, p. 238, 241, 273, 393.—Punto de ebullición del ozono y de congelación del etileno; *Olzewski*, página 282.—Procedimiento para determinar la resistencia de una pila; *Tumlirz*, p. 281.—Nuevas investigaciones acerca de la electrolisis del agua; *Helmholtz*, p. 283.—Fotografía de la emisión de las vocales; *Hermann*, p. 416.—Método preferible para producir la luz monocromática, *Fléischl von Marxow*, p. 282.—Colores invisibles ó latentes de los cuerpos; *Govi*, p. 283.—Espectro de los gases sometidos á baja temperatura; *Koch*, p. 282.

METEOROLOGÍA Y FÍSICA DEL GLOBO

Potencial telúrica; *Batelli*, p. 282.—Grandes

profundidades en el Mediterráneo y en el Océano Indico; p. 376.—Sobre la altura de la atmósfera terrestre; *Presas y Puig*, página 353.—El verano de 1892; p. 344.—Temperaturas del mes de junio en España; p. 288.—Temperatura del suelo; *Becquerel*, p. 272.—Los hielos en el Océano Atlántico septentrional; p. 45.—Curva de inviernos rigurosos; p. 98.—Fenómeno atmosférico en Sanlúcar; p. 120.—Estadística de las tormentas; p. 168.—Estadística del rayo; p. 319.—El clima de Málaga según los resúmenes mensuales del año 1891; *Marcolain*, p. 83, 103, 149.—Observaciones meteorológicas en Villafranca del Panadés; *Baltá R. de Cela*, p. 143.—Predicciones del tiempo; p. 143.—Meteoscopios orgánicos; *Graells*, p. 114, 124.—Lluvia de azufre en Mallorca; p. 142.—Fenómeno atmosférico en Málaga; p. 192.—Lluvia de peces en Bosnia; p. 376.

QUÍMICA

La Química descriptiva y la Química racional; *Calderón*, ps. 404, 421.—El congreso internacional de nomenclatura química; *Hanriot*, p. 367.—Nomenclatura química; *Calderón*, p. 378.—Elementos y meta-elementos; *Crookes*, ps. 137, 417.—Compuestos de fósforo, boro, yodo; p. 201.—Preparación de las sales de estroncio; *Barthe y Falières*, p. 247.

Cloroformo cristalizado; *Pictet*, p. 256.—Sustancia colorante; p. 256.

Los microorganismos en relación con las reacciones químicas; *Franckland*, p. 388, 398.—Sustancias que precipitan la antipirina; p. 391.—Preparación de las disoluciones de los reactivos; *Krauch*, p. 306.

HISTORIA NATURAL

Terremoto en el país de Gales; p. 343.—Terremoto en Francia; p. 47.—Fuego subterráneo en Verona; p. 48.—Terremotos en Roma; p. 48.—Corriente de lava en Nápoles; p. 48.—Terremoto en Messina; p. 120.—La erupción del Etna; *Zenger*, p. 299,

- 316, 344.—Los volcanes del Africa ecuatorial; p. 271.—Terremotos en Filipinas; p. 240.—Erupción en Filipinas; p. 215.—Terremotos en Yokohama, Japón; p. 24.—Erupción en Sidney; p. 303.—Volcan de Co lima, Méjico; p. 24, 120.—Uráter en Méjico; p. 216.—Terremotos en Méjico; p. 303.—Cataclismos en la América Central; p. 216.—Terremotos en el Salvador; p. 163, 272.—Terremotos en California; p. 216, 256.—Terremotos en Chile; p. 168.
- El mapa topográfico y geológico de la circunscripción de Barcelona del Dr. D. J. Almera, *Landerer*, p. 60.—Explicación somera del mapa geológico de los alrededores de Barcelona; *Almera*, p. 132, 275.—Rocas eruptivas de los alrededores de Barcelona; *Almera*, p. 1, 25, 49.—La Litología de la Isla de Cuba; *Vidal y Careta*, p. 81.—Diorita de Guanabacoa, Cuba; *Vidal y Careta*, p. 28.
- La extinción del Mamut en Siberia; p. 254.—Restos de Mamíferos fósiles descubiertos en el eoceno inferior de la Patagonia austral; especies nuevas, adiciones y correcciones; *Ameghino*, p. 183, 194, 222.—Vertebrados fósiles; *Gaudry*, p. 215.—Enumeración de las Aves fósiles de la República Argentina; *Ameghino*, p. 68, 91.—Catálogo de los Moluscos fósiles pliocenos de Cataluña; *Almera y Bofill y Poch*, (obra aparte).
- Apuntes sobre salinas; *Minó*, p. 30, 56.
- Sobre los nombres vulgares de las plantas; *Colmeiro*, p. 8.—Origen de las materias colorantes de la vid. Sobre los ácidos ampelocroicos; *Gautier*, p. 263.
- Entomología chilena; sinonimia; *Reed*, p. 289.—Corales; *Agassiz*, p. 256.
- Degeneración de la especie; *Brunon*, p. 72.—Los moros de Filipinas; *Blumenrit*, página 234.—Distribución geográfica de las razas indígenas de Méjico y América Central, antes del descubrimiento de América; *Barberena*, p. 160, 173, 291, 309, 362.—Congreso internacional de Antropología; p. 392.
- MEDICINA
- Conservación del cuerpo humano después de la muerte; p. 72.
- La vida en las grandes alturas; *Viall*, página 386.—Sentido de la dirección; *Yung*, p. 213.—Transfusión de sangre; extracto de sanguijuelas; p. 320.—Inhalaciones de clorfenol; *Passerini*, p. 284.—Anestésico; *Lambuth*, p. 256.
- Propagación de la locura; p. 71.—Risa inextinguible; *Fedorol*, p. 272.—Hidrofobia; *Mendoza*, p. 142.—Los dientes y el pan blanco; *Crickton Brownes*, p. 416.—El veneno del sapo; p. 255.—Id. id. de las serpientes; p. 304.—Envenenamiento por el pescado; p. 392.
- Vacunación é influencia; *Bienfait*, p. 24.—Vacuna y tuberculosis; *Fourjanski*, p. 44.—Sobre la influencia; p. 47.—Tratamiento de la viruela por la oscuridad solar; *Gallavardin*, p. 284.—Curación de la rabia; p. 342.—Remedio contra la jaqueca; p. 376.—Nuevo antiséptico; *Emmerich*, p. 285.—Acción antiséptica de la antipirina; *Caseneuve y Visbecq*, p. 286.—Contra las mordeduras de las víboras; *Kaufmann*, p. 48.—Contra la mordedura de las serpientes; *Calmette*, p. 304.—El permanganato de potasa como antidoto del fósforo; *Arpad Bokai*, p. 288.
- Desinfección de las paredes; *Bordoni-Uffreduzzi*, p. 319.
- VARIA
- El conquistador del Perú; *Larrabure y Unanue*, p. 208.—Los cartógrafos mallorquines Angelino Dulceti y Jafudá Cresques; *Fernandez Duro*, p. 175.—Viaje de exploración; p. 168.—Viaje á las regiones árticas; p. 304.—Las regiones polares antárticas; *Thoulet*, p. 15; 35, 62.
- La alquimia en España; *Luanco*, p. 73, 121, 145, 217, 244, 257, 377.—Explotación del hielo; p. 96.—Teléfonos en los Estados Unidos; p. 304.—Análisis de alcoholes y aguardientes comerciales; p. 249, 268.—Consumo de alcohol en Francia; p. 416.
- NECROLOGÍA.—Campá, Dr. D. Francisco de P.; p. 120.—Cardona y Orfila, D. Francisco; p. 95.—Córdoba y Miquel, Polo de Bernabé, D. Manuel M.^a de; p. 303.—Emperador del Brasil; p. 24.—Pravaz; p. 304.—Roig y Oliveras, Bienvenido; p. 193, 239.—Roumeguere, C.; p. 192.
- Real Academia de Ciencias de Madrid; programa de premios; p. 116.—Supresión de la Escuela general preparatoria de Ingenieros y Arquitectos; p. 302, 320.—Las economías en la enseñanza; *Roig y Torres*, p. 339.—Catedráticos de la Universidad Central; p. 343.—Id. extranjeros; p. 416.—Recomendación oportuna; *Calderón*, página 392.
- Transmisión de vacuna por las palomas mensajeras; *Stroebel*, p. 416.—Accidente en un laboratorio; p. 240.—El calculista Jaime Inaudi; p. 164.—Influencia del número 9; p. 72.—Conservación de las plumas de acero; p. 48.
- Una ley sobre el hipnotismo; p. 391.—La Academia silenciosa; p. 144.—Tres grandes médicos; p. 216.
- El Almanaque Náutico para 1894, bajo la dirección de D. J. Viniestra; p. 376.—Elementos de Física y nociones de Química por D. T. Escherich y Mieg; *Mascareñas*, p. 374.—Obras recibidas; p. 214, 287, 316, 391, 416.

ÍNDICE ALFABÉTICO POR ORDEN DE AUTORES

A.

- Agassiz, A.**—Corales, p. 256.
Almers, J. Canónigo.—Rocas eruptivas de los alrededores de Barcelona, ps. 1, 25, 49.—Explicación del mapa geológico de los alrededores de Barcelona, ps. 132 y 275.
Almera y Bofill.—Moluscos fósiles pliocenos de Cataluña. (Obra aparte).
Ameghino, F.—Aves fósiles de la República Argentina, ps. 67 y 91.—Mamíferos fósiles del coceno de la Patagonia austral, ps. 183, 194 y 222.

B.

- Barberena, S. I.**—Razas indígenas de Méjico y América Central, ps. 160, 173, 291, 309 y 362.
Barthe y Falléres.—[reparación de las sales de estroncio, p. 247.
Battelli, A.—Corrientes telúricas, p. 282.
Baudoin, M.—El calculista Jaime Inaudi, fenómenos curiosos, p. 164.
Becquerel, H.—Temperatura del suelo, p. 272.
Bienfait.—Vacunación é influenza, p. 24.
Blumentritt, B.—Los moros de Filipinas, p. 234.
Bokai, Arpad.—El permanganato de potasa como antídoto del fósforo, p. 288.
Bordoni-Uffreduzzi.—Desinfección de las paredes, p. 319.
Brunon.—Degeneración de la especie, p. 72

C.

- Calderon, L.**—Nomenclatura química, página 378.—Recomendación oportuna, página 392.—La química descriptiva y la química racional, ps. 404 y 424

- Calmette.**—Remedio contra la mordedura de las serpientes, p. 304.
Camps Mercadal, F.—Necrología: don Francisco Cardona y Orfila, p. 95.—Refranes sobre meteorología y Astronomía; página 112.
Cazeneuve y Visbecq.—Acción antiséptica de la antipirina, p. 287.
Charlois.—Nuevas planetas, p. 240.
Clariana Ricart, L.—Estudio sobre integrales. p. 97.—Funciones elípticas, página 321.
Colmeiro, M.—Nombres vulgares de las plantas, p. 8.
Correa Ramirez, F.—Teorema de Cauchy aplicado á las ecuaciones de segundo grado, p. 5.
Crickton.—Los dientes y el pan blanco, p. 416.
Crookes, William.—Elementos y metaelementos, ps. 136 y 417.

E.

- Emmerich, E.**—Nuevo antiséptico, p. 285.
Espinal, F.—Ecuaciones de grado superior, ps. 155 y 169.

F.

- Federot.**—Risa inextinguible, p. 272.
Fernandez Duro, C.—Cartógrafos mallorquines, p. 175
Fleeming, S.—Hora universal, p. 273.
Fourjanski.—Vacuna y tuberculosis, página, 44.
Franckland.—Los microorganismos en relación con las reacciones químicas, páginas, 388 y 398.

G.

- Gallaverdin.**—Tratamiento de la viruela por la oscuridad solar, p. 284.
Gaudri, A.—Fósiles de la América del Norte, p. 215.
Gautier, A.—Materias colorantes de la vid, ácidos ampelocroicos, p. 263.
Govi, G.—Colores latentes de los cuerpos, p. 283.
Graells, M. de la P.—Los meteoroscopios orgánicos, ps. 114 y 125.
Guthrie, L.—El veneno del sapo, p. 255.

H.

- Hanriot.**—Congreso internacional de nomenclatura química, p. 367.
Haycroft.—Trasfusión de sangre. Extracto de sanguijuelas, p. 320.
Helmholtz, H. v.—Electrolisis del agua, p. 283.
Hermann.—Fotografía de la emisión de las vocales, p. 416.
Holtz.—Estadística del rayo, p. 319.
Houdaille.—Sobre el fenómeno de la evaporación, ps. 238, 241, 273 y 393.

K.

- Kaufmann.**—Contra la mordedura de las víboras, p. 48.
Koch, K. R.—Espectros gaseosos, p. 228.
Krauch.—Preparación de las disoluciones de los reactivos, p. 306.

L.

- Lambuth.**—Anestésico chino, p. 216.
Landerer, José J.—Mapa topográfico y geológico de la circunscripción de Barcelona, p. 20.—Expresiones numéricas relativas á la teoría de los satélites de Júpiter, p. 345.
Lapparent, A. de.—Extinción del Mamut en Siberia, p. 254.—Los volcanes del Africa ecuatorial, p. 271.
Larrabure, E.—El conquistador del Perú, página 208.
Loaiza.—Cráter en Méjico, p. 216.
Luanco José R. de.—La alquimia en España, ps. 73, 121, 145, 217, 244, 257 y 377.

M.

- Marcolain P.**—El clima de Málaga, páginas 83, 103 y 449.
Marxow, F. v.—Producción de luz monocromática, p. 282.
Mascareñas, E.—Bibliografía, Elementos de Física de D. T. Escrich, p. 374.
Mendoza.—Hidrofobia, p. 152.
Merino, M.—Premios de la R. Academia

de Ciencias de Madrid, p. 116.—Observaciones meteorológicas, p. 214.

Mimó y Caba, Claudio.—Apuntes sobre salinas, ps. 30 y 56.

Moissan.—Compuestos de fósforo, boro, yodo, p. 201.

O.

Olzewski, K.—Ebullición del ozono y congelación del etileno, p. 282.

P.

Pas: erini.—Inhalaciones de clorfenol, página 284.

Pfeiffer.—Bacilo de la influenza, p. 47.

Pictet, R.—Cloroformo cristalizado, p. 256.

Presas y Puig, L.—Altura de la atmósfera terrestre, p. 353.

Puente, C.—Refranes sobre meteorología y astronomía, p. 23.

R.

Redaccion.—Necrológica: D. Bienvenido Roig y Oliveras, ps. 194 239.

Reed, E. C.—Entomología chilena, sinonimia, p. 289.

Roig y Torres.—Las economías en la enseñanza, p. 338.

S.

Schwarz.—Formación de los circos lunares, p. 376.

T.

Thoulet, J.—Las regiones polares antárticas, ps. 15, 35 y 62.

Tizzoni y Cantanni.—Curación de la rabia, p. 342.

Tumlirz, O.—Determinación de la resistencia de una pila, p. 281.

V.

Viault.—La vida en las grandes alturas, p. 386.

Vidal y Careta, F.—La diorita en Guanabacoa, p. 28.—La litología en la Isla de Cuba, p. 81.

W.

Wolf, M.—Nuevos planetas, p. 240.

Y.

Yung, E.—Sentido de la dirección, p. 213.

Z.

Zenger, C. W.—Erupción del Etna, p. 29.

