

# DISCURSOS

LEÍDOS ANTE LA

## REAL ACADEMIA DE CIENCIAS

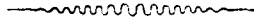
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

EN LA RECEPCIÓN PÚBLICA

DEL

ILLMO. SR. D. GUMERSINDO VICUÑA Y LAZCANO

el día 10 de Junio de 1883



MADRID

IMPRESA DE LA VIUDA É HIJO DE D. E. AGUADO

*Calle de Pontejos, 8*

—  
1883

# DISCURSO

DEL

ILLMO. SR. D. GUMERSINDO VICUÑA Y LAZCANO



## Señares:

Si honra grande es para los que al estudio de las ciencias nos dedicamos traspasar los umbrales de esta docta corporación, y muy especialmente, como á mí me sucede, en edad por fortuna aún no avanzada, crece de punto al ver que la casualidad me hace ocupar el puesto de aquel ilustre varón por vosotros elevado á la presidencia de esta Academia. Al favorecerme con vuestros sufragios, los que habéis sido mis maestros en las cátedras, ó mis guías en el cultivo científico, para ser vuestro compañero en las tareas académicas, habéis premiado mi amor al estudio con galardón muy superior al que merezco: quédoos por ello profundamente reconocido, como quien sabe que á la benevolencia, y no á la justicia, debe honor tan envidiable como envidiado.

Tócame suceder, por azar de la suerte, como acabo de indicar, al Sr. Marqués del Socorro, cuya larga vida fué espejo de caballeros y modelo de ciudadanos. Quizás no alcanza la historia de la ciencia española un período tan angustioso como la primera mitad del siglo que corremos: aquella terrible lucha

por la independencia de la patria, que aniquiló las ciudades, destruyó los pueblos y despobló los campos, los sacudimientos mil que ha costado establecer en España el régimen constitucional y parlamentario, la guerra civil de los siete años, que con ser el mayor de todos no perturbó quizás tanto como las revueltas de diverso linaje que le precedieron y aun le siguieron, fueron motivos poderosos para contener el movimiento científico restaurado por Carlos III, no solo por los males propios de tanto vértigo, sino también porque la juventud abandonó los caminos tranquilos de las ciencias para lanzarse por los agitados campos de la política.

No fué de estos últimos el difunto Marqués, á quien la suerte colocó en medio de semejante torbellino, y por eso pudo alcanzar en su senectud, al ver el progreso de los estudios en España sobre aquel terreno tan removido, el premio debido á su constancia. Desagradáronle el ardor de los combates y las luchas de la vida pública, aunque en su juventud fué por poco tiempo militar y ejerció cargos populares: noble y rico, descendiente de ilustres marinos y generales, víctima también alguno de nuestras discordias, se consagró desde temprana edad al estudio, se recibió de arquitecto y tomó parte en muchas empresas docentes y benéficas. Tenía su inteligencia dispuesta para contribuir al progreso científico, y su bolsillo abierto para las obras humanitarias; inició adelantos, coadyuvó á otros muchos, dirigió por algún tiempo también la Escuela Superior de Arquitectura, y en medio de una grandísima modestia, huyendo con decidido empeño de los elogios de la prensa, que tanto se prodigan en nuestra época, consagró una larga vida á sus creencias, pudiendo recoger, al terminarla, el respeto general, el amor de sus parientes y las lágrimas de sus favorecidos.

La biografía de D. José Solano de Matalinares, Marqués

del Socorro, nacido en Madrid en 1802, pudiera ser la historia de las vicisitudes sociales de España en lo que va de siglo, porque él contribuyó, en lo que pudo, á restañar las heridas de tanta agitación, preparando, á la medida de sus fuerzas, días de mayor ventura para el saber. Observó sin duda en sus floridos años que en nuestra patria apenas se vislumbraba el movimiento científico de Europa: al fallecer pudo notar que ya lo comprendíamos y seguramente anheló para lo futuro que lo imitáramos en el camino de la investigación original.

Censor y Director de la Sociedad Económica Matritense, Consiliario y Presidente de la Real Academia de Nobles Artes de San Fernando, Vicepresidente del *Instituto Industrial de España* creado en 1840, y cuyo objeto era promover el desarrollo de la industria en todos los ramos, había sido en 1834 elegido individuo de la *Academia de Ciencias naturales de Madrid*, en la que fué sucesivamente Tesorero, Vicepresidente y Presidente, y encargado como tal, á la creación de esta *Real Academia* en 1847, de proponer los individuos que habían de constituir su base. No bien se organizó fué elegido Vicepresidente, y Presidente de la sección de Ciencias físicas, ocupando el primer puesto en ella desde 1866, por fallecimiento de su digno antecesor, el inolvidable General Zarco del Valle. Vosotros le reelegisteis desde entonces hasta su muerte y le disteis vuestra representación ante el Senado, no solo al otorgarse sabiamente por la ley de 1877 este derecho á las corporaciones doctas, sino también las veces sucesivas en que fué menester. En esta Academia, á la cual miró siempre con especial cariño, y en otros círculos, contribuyó á la divulgación de las ciencias con discursos, artículos, informes y conferencias que no me toca detallar.

El nieto del Conde del Carpio, el hijo de la Marquesa de la Solana, el heredero del Capitán General de la Armada á quien

el Monarca antes citado tituló Marqués del Socorro por sus buenos servicios, hombre de su siglo y de su época, prefirió los timbres de la ciencia á otros más brillantes ó á las frivolidades de la vida regalada, comprendiendo que en nuestros tiempos no hay más aristocracias que las de la virtud y el trabajo, pues el nacimiento es hijo de la casualidad, que solo enaltece la cuna á quien obra bien, y el talento es don del cielo, antes digno de castigo que de galardón si no se labra y abrillanta con el estudio.

Cultivó mi respetable antecesor las ciencias en general, y particularmente la Física en la parte elemental, que por entonces se estudiaba en nuestra España. A ella, en su combinación con la ciencia de la cantidad, me he dedicado yo también durante algunos años, por razón de la cátedra que poseo en la Universidad Central. No extrañaréis por lo tanto, señores Académicos, que obligado por las prescripciones de nuestro reglamento escoja un tema de este ramo del saber, procurando, en lo posible, que tenga alguna actualidad en las especulaciones científicas modernas. A todos interesan, por ejemplo, los adelantamientos referentes al calor y á la electricidad, y quizás en ningunos otros se han hecho mayores progresos. ¡Quién digera, no ya á los griegos y romanos, sino á los sabios del siglo XVII de nuestra era, que aquellos rudimentarios fenómenos del frotamiento de un trozo de resina habían de llegar, andando los tiempos, á producir las maravillas del telégrafo, del alumbrado, de la galvanoplastia, del teléfono y del transporte de la fuerza motriz! ¡Cómo habían de sospechar la intimidad entre aquel fenómeno y sus derivados con otros del calor que veían y sentían!

Así ha sido, sin embargo. La ley suprema de la unidad parece llevarnos á no considerar más que una sola clase de energía natural con formas diversas: por hoy solo nos ocupa-

mos en buscar afinidades y semejanzas: la tarea de nuestros sucesores será sacar consecuencias y simplificar las teorías. Por esto he escogido como tema de mi discurso, no ya el estudio aislado de estos procesos, sino sus enlaces, y aun estos no bajo el aspecto experimental ó meramente físico, sino bajo el cuantitativo ó general, por lo cual voy á sintetizar el examen de las *relaciones principales entre las teorías matemáticas de la Física*, contando de antemano con vuestra benévola indulgencia, en gracia á lo difícil del asunto y sobre todo á la escasez de mis conocimientos.

## I.

Comenzaré con un resumen histórico de la aplicación y compenetración de la ciencia de la cantidad con el concepto de la materia, constituyendo la Física-matemática en la acepción más general de esta nueva ciencia, para examinar luego el fraccionamiento que sucesivamente ha ido experimentando hasta llegar á nuestros días.

Las escuelas griegas aplicaron la Matemática á la Física, y crearon la Óptica, la Acústica, la Gnomónica, la Astronomía, la Perspectiva y la Mecánica, si bien todas rudimentariamente y con un carácter que luego han perdido algunas. Los romanos supieron al menos conservar la ciencia que sus maestros les enseñaron; no así los diversos pueblos que se posesionaron del mundo durante la Edad-Media. Hay que exceptuar, sin embargo, al árabe, que cultivó las citadas ciencias é hizo algunos progresos en ellas. El renacimiento científico, que siguió al literario y brilló hacia el siglo XVI, no pudo dirigir sus fuerzas hasta llegar á las ciencias naturales compuestas; ¡harta tarea tenía sobre sus hombros con desenterrar y

descifrar los inmensos trabajos matemáticos de las civilizaciones griega y árabe!

Forma caso aparte la Astronomía, que aplicada á la navegación, por los esfuerzos de los marinos y cosmógrafos, en especial de los españoles, se elevó á bastante altura <sup>1</sup>.

La Física-matemática comienza realmente en el siglo XVII, con la perfección del instrumento analítico, que permitió inquirir cuestiones hasta entonces inabordables, y gracias también á los genios que en tan notable época florecieron: Fermat, Descartes, Newton, Leibnitz, Huyghens y tantos otros. Entre estos sabios ocupa un lugar preferente Newton, por su inmortal obra, titulada *Principios matemáticos de la Física*, no tanto por lo que hizo adelantar á esta última, como por el método matemático adoptado, con independenciam de teorías *à priori*. Esta inmortal obra se generalizó de tal modo que en vida del autor se hicieron tres ediciones latinas de la misma <sup>2</sup>, alguna inglesa y varias en lenguas diversas, despertando la afición de los matemáticos á ocuparse de diversas cuestiones de la materia. Por otra parte el título de la obra se refiere á la Física en la más lata acepción de esta palabra, y literalmente á la Filosofía natural, según la voz ordinaria usada en Inglaterra, aunque no se ocupa realmente sino de Astronomía y Mecánica celeste.

---

<sup>1</sup> Merece citarse en primer lugar á Pedro Núñez, profesor de la Universidad de Coimbra, que dió un tratado sobre los crepúsculos, muy notable, y resolvió problemas como el de las loxodromias y el de menor crepúsculo, que un siglo más tarde, y ayudado de los poderosos recursos del cálculo, confiesa Jacobo Bernouilly haberle costado gran trabajo: el libro es *De Crepusculis*. Lisboa, 1542. Compuso también obras de navegación, una Algebra (la primera que se publicó en español), etc.

De Cosmografía y Astronomía hubo varios autores notables, algunos de los cuales vieron sus obras traducidas á idiomas extranjeros: recordamos á Aguilera, Alonso de Santa Cruz, Chaves, García Céspedes, Medina, Moya, Rocamora. Rojas, Saenz y Vargas.

<sup>2</sup> La primera es de 1686, la segunda de 1713, y la tercera de 1726.



He dicho que la verdadera aplicación de las matemáticas á la Física arranca del siglo de oro de la ciencia de la cantidad, que es aquel en que se ideó el cálculo infinitesimal y se inició el movimiento que aun continúa en otras ramas del saber. Sea cualquiera la constitución de la materia, es lo cierto que la consideración de lo infinitamente pequeño cuadra perfectamente á su naturaleza, y permite de un lado llegar á las leyes que Lamé denomina diferenciales, y de otro á las generales que la rigen. Por eso el desarrollo en serie de una función es un procedimiento muy usado en estas investigaciones.

Las conocidísimas fórmulas de Taylor y de Mac-Laurin son las capitales de las ciencias físico-matemáticas.

Los sabios ya citados y sus sucesores del siglo XVIII trataron muchas cuestiones aisladas, de modo que en este último fué preciso coordinar los conocimientos acumulados y constituir con método y sistema la ciencia nueva. Así lo habían hecho por su parte varios autores, principalmente Sgravesande, Muschembrok y Mariotte, en cuyas obras se hallan los conocimientos de la época con criterio lógico-matemático <sup>1</sup>. En 1753 publicó en Francia Saverien, su *Diccionario de Física*, resu-

---

<sup>1</sup> Sgravesande, *Eléments de physique démontrés mathématiquement et confirmés par des expériences, ou introduction à la philosophie newtonienne*: traducido del latín por Joncourt, Leiden, 1746. Trata de la gravedad, choques, resistencia de flúidos en el tomo 1.º; en el 2.º del fuego, refracción y reflexión de la luz, sistema del mundo, etc.

Muschembrock, *Essay de physique*, 1751. traducido del holandés por Massuet. El tomo 1.º trata de los cuerpos, vacío, fuerzas, gravedad, frotamiento, vibración, fuerzas centrales, percusión, electricidad, cohesión, flúidos, surtidores, peso específico, agua y fuego. El 2.º de la luz, refracción, ojo, visión, dióptica, catóptrica, aire, sonidos, meteoros y vientos.

Muschembrock, *Cours de physique expérimentale et mathématique*. París, 1769: traducido por Sigaud. Tres tomos en folio, que tratan de las mismas cuestiones que la obra anterior, pero más detalladas.

Mariotte, *Œuvres*. Dos tomos en 4.º, Haya, 1717. No vale tanto como las anteriores, bajo el punto de vista de la Física-matemática. En España se publicó en 1789 la obra en seis tomos, titulada *Elementos de Física teórica*

miendo el estado de las ciencias fisico-matemáticas. La tendencia de la época era exponer las leyes de la materia por el razonamiento, al par que con auxilio de las matemáticas, y ver si se confirmaba por la experiencia. Así lo dice terminantemente D'Alembert en el discurso preliminar de su tratado de Dinámica. Al comenzar el siglo actual la ciencia toma otro rumbo y se separan ya la Astronomía y la Mecánica, constituida esta última, como hoy se encuentra, por el ilustre Lagrange. La Física-matemática queda así aislada en su estudio, pero adquiere cada día mayor robustez y vigor para tener por sí sola gran interés. Otro carácter se presentó por entonces que contribuyó á deslindar las obras de Física matemática, y fué el gran desarrollo que adquirió el método experimental, que obligó por consiguiente á detallar en obras especiales los resultados de estos trabajos. Publicáronse en esta época las Físicas mecánicas de Fischer y Prevot <sup>1</sup>, la obra más conocida de Biot, que hasta hace algunos años era un resumen de todas las teorías físicas y matemáticas <sup>2</sup>, y más tarde la notable italiana

---

*y experimental*, de Mr. Sigaud, etc., traducida por el capitán de ingenieros D. Tadeo López: contiene en sus notas algunas cuestiones matemáticas, pero elementalmente tratadas.

<sup>1</sup> *Physique mécanique*, traducida del alemán por Biot; París, 1813: un tomo. Trata de propiedades generales de los cuerpos, gravedad, etc., calor con gran desarrollo, propiedades de los gases, higrometría, barómetros, máquina neumática. ley de Mariotte. Luego se ocupa de electricidad, magnetismo y luz. Trae pocos cálculos, pero emplea mucho el razonamiento, y no detalla los experimentos.

*Traité de physique mécanique* de Prévot. Ginebra, 1818: es notable por contener las opiniones de Le-Sage, relativas á la constitución de los gases en conformidad con la moderna Termodinámica.

<sup>2</sup> *Traité de physique expérimentale et mathématique*. París. 1816. Hay otra edición anterior menos extensa. Consta de cuatro gruesos tomos; usa mucho el análisis matemático: pero en las cuestiones en que éste es muy complicado, como en la teoría de movimientos vibratorios, solo pone el resultado. El tomo 1.º trata de instrumentos, gravedad, elasticidad y calor. El 2.º de acústica y electricidad. El 3.º de magnetismo y luz, y el 4.º de luz, calor radiante y calor latente.

de Avogardo <sup>1</sup>. Estas dos últimas puede decirse que son elementales en la parte matemática, pues no estudian las cuestiones que exigen notables y profundos desarrollos analíticos. Posee mayor unidad y elevación la obra italiana de Mossoti <sup>2</sup>.

Varios matemáticos comienzan en el primer tercio de nuestro siglo á desarrollar las diversas ramas, é indicaré sus nombres al discurrir sobre éstas. Se escriben tratados completos sobre varias ciencias, y se amplian los ya existentes, hasta llegar al estado actual de las obras francesas corrientes, como las de Jamin, Verdet y otras análogas de diversas naciones.

Para acercarme más al fin que me propongo, voy á proceder al examen del desarrollo sucesivo que han tenido las diversas ciencias físico-matemáticas ya constituidas, indicando al paso las principales relaciones cuantitativas que iban surgiendo.

La Optica es una de las cultivadas hace más tiempo, y en la cual se han realizado trabajos muy laboriosos y difíciles. Ya las florecientes escuelas griegas estudiaron algunas de sus teorías en los tratados de Perspectiva, atribuyéndose al gran geómetra Euclides el descubrimiento de la ley de igualdad entre el ángulo incidente y el reflejado, y al eminente Arquímedes la composición de espejos ustorios, lo que supone conocimientos teóricos bastante notables. El gran astrónomo de la escuela alejandrina, Tolomeo, escribió más tarde un tratado de Optica, que sirvió de base al que presentó el árabe Alhacem algunos siglos después, el cual consta de siete libros y otro sobre los crepúsculos. En España Arzaquiel, Alfarabio y otros realizaron algunos trabajos parciales en estas ciencias <sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> *Fisica di corpi ponderabili ó sia trattato della costituzione generale di corpi*. Turín, 1837. Cuatro volúmenes muy abultados.

<sup>2</sup> *Lezioni elementari di Fisica-matemática*. Dos tomos. Florencia-1843.

<sup>3</sup> El primero compuso las famosas tablas toledanas en el siglo XI. y

En el siglo XVI se imprimen parte de estas obras <sup>1</sup>, y la Optica permanece como estacionaria, á pesar del invento del telescopio á principios del siglo XVII, hasta 1637 en que Descartes publica su Dióptrica, dando la ley de la refracción, si bien el alemán Snellius la había descubierto antes (en 1621), aunque usando de las secantes en vez de los senos. En 1663 da á la estampa Gregory su *Optica promata*. En 1665 Grimaldi en su tratado de la luz <sup>2</sup> echa las bases de la teoría ondulatoria, con los experimentos que se refieren á lo que hoy llamamos interferencias, y se imprimen en 1667 las lecciones de Optica de Barrow. Publica Huighens en 1678 su famoso tratado sobre la luz, estudia el ruso Tschirnaus las cáusticas, y en 1706 imprime Newton su Optica <sup>3</sup>. Estas obras clásicas resumen los colosales trabajos de los sabios citados, y á mediados del siglo XVIII da á la estampa Smith su sistema completo de Optica <sup>4</sup>, y expone Euler en su *Dióptrica* las fórmulas

---

Averroes, el gran médico y filósofo de Córdoba, hizo una enciclopedia con arreglo al saber de su época.

Alfarabio dejó un manuscrito de Perspectiva, según dice Libes, *Histoire philosophique des progrès de la physique*, Paris, 1810. Tomo 2.º, página 102.

<sup>1</sup> La Optica auténtica de Ptolomeo no se descubrió hasta principios de este siglo en una biblioteca de París, según Montferrier. *Dictionnaire des mathématiques*, artículo *Optique*.

La obra de Alhacem fué impresa en 1572 por Risneo con el nombre de *Thesaurus Opticæ* (Montucla, *Histoire des mathématiques*, tomo 1.º, página 385). El canónigo español Pedro Ciruelo publicó en su obra *Cursus quatuor mathematicarum* (Alcalá, 1516) un tratado de Perspectiva, en que se ocupa de la reflexión de la luz y su refracción, siguiendo en casi todo á Alhacem.

<sup>2</sup> *Physico-mathesis de lumine coloribus et inde*, obra póstuma (Bolonía).

<sup>3</sup> Hay varias ediciones: yo he manejado la traducción francesa, cuyo editor fué el académico Beauzée. Dos tomos en 8.º, París, 1787. En esta obra se demuestran los teoremas ó proposiciones por medio de la experiencia, y se admiten como axiomas las leyes de la reflexión y refracción de la luz.

<sup>4</sup> La obra inglesa salió en 1738 con el título de *A complete System of Opticks*, y solo conozco una traducción anónima al francés con el título de

de la refracción en el estado en que hoy se usan dentro de la Óptica geométrica, detallando notablemente la teoría de la aberración de refrangibilidad <sup>1</sup>.

Dentro ya de nuestro siglo estudian Young en Inglaterra, y Arago en Francia los fenómenos de la luz; publica Herschel su tratado, obra notable por su claridad y método <sup>2</sup>; Sturm, una Memoria sobre el estudio de las cáusticas por puntos; Lagrange, Brewster, Poisson y Airy, algunos otros trabajos; y Cauchy presenta estudios que tienden á desarrollar las cuestiones capitales de las teorías ópticas <sup>3</sup>, siendo varios los autores que han sintetizado los numerosos trabajos de este sabio, como Blanchet en una Memoria especial, y Briot en un folleto sobre la teoría de la luz <sup>4</sup>. Antes de Cauchy había investigado Fresnel, hacia 1819, las bases de la teoría de las ondulaciones, que destruyó desde entonces para siempre á su rival hipótesis de la emisión, fundándose en los curiosos fenómenos de las interferencias. Fresnel se auxiliaba á un tiempo mismo de la matemática y de la experimentación, pero no llegaba en aquella al desarrollo eminentemente teórico y elevado que

*Cours complet d'Optique* (París, 1767, dos tomos en folio). Adopta la teoría de la emisión de Newton, y es notable como resumen de lo que entonces se sabía, especialmente de la aplicación á los instrumentos ópticos: emplea con elegancia el cálculo matemático. De 1772 es la obra de Priestley, *History of vision, light and colours*.

<sup>1</sup> En España no se hizo en esta época más que copiar, y muy sucintamente, lo que en el resto de Europa se elaboraba, como en la obra completa del P. Tosca y en algunas otras.

<sup>2</sup> *Traité de la lumière*, traducido del inglés por Verhulst y Quételet. París, 1829: dos gruesos tomos. Contiene un suplemento de Quételet con ciertas teorías nuevas que no estaban incluidas en el texto.

<sup>3</sup> En el tomo 2.º, página 152 y siguientes de la obra *La vie et les travaux du baron Cauchy*, por Valson (París, 1868), se cuentan 23 memorias del sabio matemático francés, relativas á la propagación de las ondas: 34 referentes á la reflexión y refracción de la luz, 10 pertenecientes á la polarización, 5 á la dispersión y 4 á la difracción.

<sup>4</sup> *Recherches sur la théorie mathématique de la lumière*. París, 1864.

luego le dió Cauchy con el cálculo de los residuos y otras investigaciones, á partir de 1829. La teoría de Cauchy tuvo algunos impugnadores; la de Fresnel también luchó y triunfó con éxito seguro.

Los grandes descubrimientos que posteriormente ha experimentado la Óptica han dado origen á varias disertaciones matemáticas como las de Senarmont, Boussinesq, etc., sobre diversos puntos, reunidas en las obras modernas, como el repertorio de Mr. Moigno <sup>1</sup>, la obra de Billet <sup>2</sup>, la póstuma de Verdet <sup>3</sup>, la de Mossoti en Italia, la de Delsaulx en Bélgica <sup>4</sup>, la del Sr. Echegaray en España <sup>5</sup>, y las Revistas científicas ó Boletines de las Academias, y ligadas en muchos casos con unidad de fin y aun de método, comprendiendo las teorías de polarización, doble refracción, dispersión, etc. Fresnel adivinó ciertas cuestiones que otros matemáticos posteriores han demostrado, en especial Hamilton en lo relativo á la refracción cónica. Plücker ha reunido parte de estas cuestiones en el estudio geométrico de las superficies recíprocas.

La parte geométrica de la Óptica ha recibido en cambio pocos adelantos en nuestro siglo, y sólo merecen citarse por su

<sup>1</sup> *Repertoire d'Optique moderne*. Paris, 1847 á 1850: cuatro tomos.

<sup>2</sup> *Traité d'Optique physique*. Paris, 1857: dos gruesos tomos.

<sup>3</sup> *Leçons d'Optique physique*, publicada por Mr. Levalistal. Dos tomos. Paris, 1870. Trata todas las cuestiones con el elevado criterio y profundo análisis matemático que distinguía al malogrado profesor de la Escuela politécnica. Al final de cada parte publica su bibliografía en lo relativo á obras, memorias y artículos.

<sup>4</sup> *Eléments d'Optique Physique*. La obra de Mossoti, ya citada, expone bien la teoría ondulatoria (tomo 2.º, página 66); pero en el resto es anticuada.

<sup>5</sup> *Teoría matemática de la luz*, 1871. Se publicó en la *Revista de los progresos de las Ciencias*, órgano de esta Academia: sigue á Cauchy. El autor de este discurso dió en la *Revista de la Universidad* (Noviembre de 1873) un estudio titulado *Introducción á la Óptica matemática*, siguiendo á Meier.

método los autores que han tratado esta parte, como Del-saulx <sup>1</sup>, y aun Jamin <sup>2</sup> y Lamé <sup>3</sup>.

La Acústica es después de la Óptica la ciencia que ha sido germen de trabajos más notables. Ya Pitágoras vió que había una íntima relación entre las longitudes de las cuerdas vibrantes y los tonos de los sonidos que éstas producen. Aristóteles tuvo ideas de la trasmisión del sonido y de la naturaleza de la armonía; pero la Acústica no estaba constituida, ni como ciencia experimental, ni menos como ciencia matemática. En este estado continuó durante muchos siglos, conociéndose generalmente con el nombre de *música* la sección que en los libros de Física se ocupaba de este asunto <sup>4</sup>, hasta el XVII en que Galileo, Wallis y Marsenne comenzaron el desarrollo de la parte experimental.

Las primeras investigaciones analíticas sobre las vibraciones de las cuerdas, fueron publicadas por Taylor á principios del siglo XVIII <sup>5</sup>, si bien Newton había estudiado antes algunas cuestiones de Acústica, como la velocidad del sonido: Euler trató el problema de las vibraciones algunos años después <sup>6</sup>,

<sup>1</sup> *Eléments d'Optique géométrique*. Bruxelles, 1866.

<sup>2</sup> *Cours de Physique*. París, 1869. Tomo 3.º

<sup>3</sup> Esta es el curso de la escuela politécnica, en tres tomos, obra de mérito. En Bélgica se publicó en 1858 un folleto titulado *Note sur l'espece générale et les variétés remarquables de la trajectoire d'une molécule d'éther lumineuse*, por Meier, en el cual se contradicen algunas aseveraciones de la parte óptica de esta obra de Lamé. Hay también unas lecciones autografiadas, pertenecientes á este profesor alemán, muerto prematuramente en Lieja.

<sup>4</sup> Entre las obras posteriores que seguían ocupándose de esta cuestión, merece citarse, por su buen criterio, la de Keplero, titulada *Harmonices mundi*, en su libro III. Esta notable obra se publicó en 1619, poco después de haber descubierto la tercera de las leyes que llevan su nombre, que tanto trabajo le costó, y que tan justa gloria le han suministrado.

<sup>5</sup> *Methodus incrementorum directa et inversa*. Londres, 1715.

<sup>6</sup> Memorias de la Academia de Berlín, de 1748, 53 y 65. Id. de la de San Petersburgo, 1779: obras completas.

así como Daniel Bernouilly <sup>1</sup>. Se ocuparon de problemas análogos Lagrange <sup>2</sup>, Alembert <sup>3</sup>, Ricati <sup>4</sup> y algunos otros. La vibración del aire en los tubos fué también estudiada matemáticamente por alguno de estos sabios <sup>5</sup>.

En 1809 publica en francés el alemán Chladni su tratado de Acústica, que es experimental más que matemático, con el descubrimiento de las placas vibrantes, cuyos trabajos, completados luego por Savart, sirvieron de base á los analíticos de Poisson y Cauchy <sup>6</sup>, y constituyen una de las partes más acabadas de la ciencia. Posteriormente se han desarrollado estos trabajos, y sólo citaré la obra de Lamé sobre Elasticidad, en que dicha cuestión es mirada como un caso particular de esta última propiedad de la materia <sup>7</sup>.

El problema analítico principal de la Acústica se refiere á pequeñas oscilaciones bruscas de varias moléculas, las cuales al volver á su primitiva posición, producen, en virtud de la elasticidad de la materia, el sonido, que se trasmite á los cuerpos inmediatos por medio de las oscilaciones mecánicas primitivas. El centro del movimiento material lo es del sonido, ó sea de las ondas sonoras que se producen. Ahora bien; las ecuaciones diferenciales necesarias para estudiar este problema, son por lo menos de segundo orden, y de aquí, según Com-

<sup>1</sup> Memorias de la Academia de Berlín de 1748, 53 y 65. Id. de la de San Petersburgo, 1753 y 65.

<sup>2</sup> *Mélanges de Phylosophie et des Mathématiques de la Societé de Turin*, tomos 1, 2 y 3.

<sup>3</sup> Memorias de la Academia de Berlín, de 1747, 50 y 63.

<sup>4</sup> *Delle corde, ovvero fibre elastiche*. Bolonia, 1767.

<sup>5</sup> Hay una memoria de Daniel Bernouilly inserta entre las de la Academia de Paris en 1762, y un trabajo más completo de Euler, copiado en las memorias de la Academia de San Petersburgo, de 1771.

<sup>6</sup> Cauchy escribió 10 memorias sobre varillas y láminas vibrantes. (Véase la obra citada de Valsón.)

<sup>7</sup> *Leçons sur la théorie mathématique de l'élasticité des corps solides*. Paris, 1852.



te <sup>1</sup>, la grave dificultad del mismo, pues se sabe la imposibilidad actual de integrar, en la mayoría de los casos, esta clase de ecuaciones, como es necesario para conocer la parte concreta y numéricamente aplicable del problema.

Cuestiones hay en la Acústica que se relacionan íntimamente con otras ciencias: tal sucede en la velocidad del sonido entre la Acústica y la Termodinámica. Laplace vió que la fórmula de Newton no correspondía exactamente á las observaciones prácticas, y corrigió este defecto introduciendo en ella un elemento que le faltaba. Al contraerse una capa de aire, decía Laplace, debe haber elevación de temperatura, y por tanto se acelera la velocidad en el movimiento retrógrado de las capas, que propagan el sonido: es fácil demostrar que el incremento de velocidad debido á esta causa, se mide por un coeficiente, el cual es el cociente de las capacidades caloríficas á presión constante y á volumen constante, con cuyo coeficiente se encuentra luego confirmada experimentalmente en sus resultados la fórmula de la velocidad del sonido. Fundándose precisamente en esta relación llegó á determinar Mayer en 1842, y antes que nadie, el valor del equivalente mecánico del calor.

La Elasticidad de los cuerpos sólidos se relaciona íntimamente con la cuestión de vibración en la Acústica, y con la doble refracción en Optica. Asimismo debe tratarse en este lugar de la Capilaridad, por la relación que tiene con las ciencias ya expuestas.

La teoría de la Elasticidad de los cuerpos sólidos no fué inquirida por los grandes matemáticos de los siglos XVII y XVIII, sino incidentalmente, y es en realidad una hija del nuestro. Fresnel indicó sus fundamentos al ocuparse de la re-

---

<sup>1</sup> *Philosophie positive*. Tomo 2.º, página 415.

fracción de la luz; el gran ingeniero Navier se ocupó directamente de ella, pero con el fin de obtener resultados utilizables en las construcciones y en las artes mecánicas, creando, puede decirse, la ciencia de aplicación llamada *Resistencia de materiales*. Con fin análogo han terciado posteriormente en esta especulación diversos matemáticos, como Clapeyron, Bellanger y Brésse, por no citar más que á los de la nación vecina.

La obra que resume los trabajos teóricos de Cauchy, Poisson y otros, aunque con forma verdaderamente original y propia, es la ya citada de Lamé, la cual prescinde por completo de toda hipótesis, aun de las relativas á la constitución molecular de los cuerpos, y limitándose á los sólidos homogéneos, trata de las cuestiones de líneas y placas vibrantes, y expone de una vez, y como fundidas, las teorías de la doble refracción y de la Elasticidad con un método tal y un análisis tan elegante y original, que preciso es asignar á Lamé un lugar preferente entre los más distinguidos sabios contemporáneos. No escasea el número de Memorias teóricas especiales relativas á este asunto, pero sólo citaré la muy completa publicada por la Academia de París, y debida á Mr. Saint-Venant, sobre la torsión de los prismas <sup>1</sup>, en la cual, siguiendo el método de Lamé, se tratan varios de los problemas más difíciles é importantes de la teoría de la Elasticidad.

Respecto de la Capilaridad puedo decir que debe, al contrario de la Elasticidad, muy poco á los trabajos de los geómetras contemporáneos, y que permanece estacionaria desde hace tiempo. La Academia de Ciencias de París ha propuesto, como tema para uno de sus premios, durante varios años, la discusión

---

<sup>1</sup> *Mémoires de la Academie des sciences*. Tomo 4.º, 1866, *Mémoire sur la torsion des prismes avec des considerations sur leur flexion ainsi que sur l'équilibre de solides élastiques en general*.

física y matemática de las teorías de la Capilaridad, sin que nadie haya podido satisfacer las exigencias del mismo, al menos en la última parte. Lo limitado de la cuestión, su pequeña importancia relativa y la dificultad del análisis empleado, son sin duda las causas del estancamiento de la teoría de la Capilaridad.

Esta teoría arranca de los trabajos de Newton, quien investigó, aunque de una manera inexacta, la atracción de las paredes del vaso continente sobre el líquido contenido. Hauksbée y Jurin hicieron depender la acción capilar, el primero de la superficie en contacto con el líquido, y el segundo de la parte anular inmediatamente superior al nivel. El geómetra francés Clairaut dió una teoría fundada en esta causa, y el gran Laplace la completó en dos memorias publicadas como suplemento á su Mecánica celeste (pudiéndose decir que casi la creó), hasta llegar al estado en que hoy se encuentra. Diversos matemáticos, sin embargo, han trabajado en este asunto, como Gauss, Poisson <sup>1</sup> y otros <sup>2</sup>.

De los contemporáneos sólo merece citarse en este punto Bertrand por algunas proposiciones analíticas nuevas <sup>3</sup> y Del-saulx por su clara exposición <sup>4</sup>.

La cuestión de la Capilaridad está sin duda íntimamente ligada con las de la atracción molecular y la Elasticidad: también merecen estudiarse sus variaciones en el caso en que cambien la temperatura y la electricidad; pero estos y otros pro-

<sup>1</sup> *Nouvelle Théorie de l'action capillaire.*—París, 1831.—Un tomo en folio.

<sup>2</sup> En el *Journal des mathématiques* de Liouville, de Octubre de 1881, publicó Résal unas investigaciones sobre esta teoría.

<sup>3</sup> *Journal de mathématiques* de Mr. Liouville.—Tomo XIII.

<sup>4</sup> *Eléments de la théorie mathématique de la capillarité*, par le P. Del-saulx.—Bruxelles, 1865.

blemas análogos están por resolverse deductivamente, lo que no hay duda ocurrirá en plazo más ó menos breve, por los datos de Quincke y de otros <sup>1</sup>.

## II.

En el resumen histórico, que acabo de hacer, de las ciencias físico-matemáticas propiamente tales, descartando por consiguiente la Mecánica y la Astronomía, he procurado investigar las relaciones cuantitativas de unas con otras, tales como se han presentado en los trabajos de los creadores de dichas ciencias. Lo he hecho sucesivamente para la Física-matemática en general, la Óptica, la Acústica, la Elasticidad y la Capilaridad.

Tócame ahora desarrollar con igual criterio los estudios, hechos exclusivamente en nuestro siglo, en las investigaciones que más resonancia han tenido en el mismo, no tanto por su valor matemático, como por su trascendencia para explicar las leyes fundamentales de la materia, penetrando en algunos de sus secretos más íntimos, y por las grandes aplicaciones que han elevado sucesivamente el nivel científico del Ingeniero, y que han soldado definitivamente el interés del práctico con la luz del sabio.

Me refiero á las ciencias del calor y de la electricidad.

La Termostática es una de las modernas que presenta tra-

---

<sup>1</sup> Varios contemporáneos estudian las relaciones de la capilaridad con la electricidad y el calor, el profesor de Física-matemática de la Universidad de Berlín, que se cita en el texto, Lippmann, ayudante de Jamin en su laboratorio de la Facultad de Ciencias de París, el profesor belga Mensbrugghe, discípulo de Plateau y otros; pero estas investigaciones no están ultimadas bajo el aspecto matemático.

bajos analíticos de un mérito tal, que los hace hasta cierto punto comparables á los verificados por los grandes geómetras de los dos últimos siglos. Los problemas relativos al enfriamiento y calentamiento de los cuerpos, á su conductibilidad interior y á las leyes de las variaciones de la temperatura en función de la forma y de las condiciones físicas, habían ocupado muy poco á los matemáticos hasta que los trató Fourier. Fundándose en la ley empírica de Newton, relativa al enfriamiento, y prescindiendo por completo de toda hipótesis, constituyó el matemático francés su gran teoría.

La conductibilidad del calor, ó sea el paso de éste por el interior de un cuerpo, no fué examinada por Fourier más que para los sólidos homogéneos y no cristalizados, si bien el problema de la varilla fué tratado ya antes por el alemán Lambert en su Pirometría, que es lo más antiguo de la teoría matemática del calor, y por Biot, con más extensión, en una memoria publicada en 1804 <sup>1</sup>. En el enfriamiento por radiación la ley aproximada de Newton sirve de base en el problema diferencial, sin error sensible, á las ecuaciones, que son diferenciales de primer orden, obtenidas igualando la cantidad de calor que pasa con lo que se pierde por radiación. La obra de Fourier <sup>2</sup> es notable porque perfeccionó considerablemente el instrumento analítico, dando el método de integración de las ecuaciones diferenciales de primer grado de un orden cualquiera, método que se ha hecho clásico y se encuentra hoy en todos los autores de cálculos.

---

<sup>1</sup> Véase su Física, tomo IV, pág. 669.

<sup>2</sup> *Théorie analytique de la Chaleur*.—Paris, 1822. Los primeros trabajos presentados por Fourier á la Academia, lo fueron en 1807. Desde Marzo de 1882 está publicando Mr. Résal en el *Journal de mathématiques* de Liouville, unos comentarios á esta teoría, atendiendo á los desarrollos de la Electroestática, hechos en Inglaterra, y de los que hablaré oportunamente,

Laplace <sup>1</sup>, Duhamel <sup>2</sup>, Poisson <sup>3</sup>, Plana <sup>4</sup> y algunos otros matemáticos trataron la cuestión bajo distintos puntos de vista, y además generalizaron la teoría físico-matemática de Fourier, aplicando la conductibilidad á cuerpos cristalinos.

Algunos otros, como Peclet <sup>5</sup>, examinaron la cuestión teórica elementalmente, pero extendieron el campo de las aplicaciones industriales.

Posteriormente ha resumido Lamé lo principal de estos trabajos, y dando una forma más elegante á su análisis, parecida, y en algunos casos idéntica, á la empleada por él en la Elasticidad, ha constituido, en su obra varias veces citada, bajo forma dogmática las cuestiones relativas á la conductibilidad, enfriamiento por comunicación y radiación, calentamiento, y ha echado las bases de la teoría de la cristalización de los cuerpos.

Pero no es esto solo lo que constituye la Termostática y en ella caben todas las cuestiones relativas á variaciones de temperatura en los cuerpos. Así el autor últimamente citado ha expuesto, sirviéndose de las funciones trascendentes elípticas y sus inversas, inauguradas por Euler y desarrolladas por el malogrado analítico sueco Abel y por el ruso Jacobí, la teoría de las superficies isotermas y su aplicación á diversos casos,

<sup>1</sup> *Mémoires de la première classe de l'Institut*, año 1809.

<sup>2</sup> *Sur la propagation de la Chaleur dans les corps solides dont la conductibilité n'est pas la même dans tous les sens*: tomo XIII del *Journal de l'Ecole Polytechnique*; publicó otras sobre este asunto desde 1835 á 1840.

<sup>3</sup> *Théorie mathématique de la chaleur*.—París, 1835: hay un suplemento de 1837. Este libro, unido al de capilaridad ya citado, formaban los primeros tratados de una obra que Poisson titulaba *Traité de Physique mathématique*

<sup>4</sup> El ilustre astrónomo sardo, barón de Plana, publicó en 1862 y 1863 dos memorias sobre el enfriamiento de los cuerpos, con aplicación al del globo terrestre.

<sup>5</sup> *Traité de la Chaleur*: hay varias ediciones: la última de 1858, en tres tomos.

especialmente á las superficies de segundo grado <sup>1</sup>. Océpase también el sabio profesor de Física-matemática, que fué, de la Sorbona (por medio de una obra especial <sup>2</sup> que resume uno de sus cursos) de las aplicaciones de las coordenadas curvilíneas á las teorías del potencial, de las superficies isoterma y sobre todo de la Elasticidad. Usa Lamé este nuevo método de investigación, que simplifica la adquisición de ciertas ecuaciones, por la facilidad que las coordenadas curvilíneas introducen en el análisis, cuando se trata de cuerpos de formas especiales. Sin embargo, el problema relativo á superficies isoterma no está aún completamente resuelto. Buena prueba de ello es el enunciado del siguiente tema que la Academia de Ciencias de París ha propuesto desde 1861 á 1867, y que nadie ha tratado á satisfacción de la misma; dice así: «Hallar cuál debe ser el estado calórico de un cuerpo sólido homogéneo indefinido, para que un sistema de líneas que son isoterma en un instante dado permanezca isoterma al cabo de un tiempo cualquiera, de tal suerte que la temperatura de un punto pueda expresarse en función del tiempo, y de otras dos variables independientes.» Este tema substituyó á otro que se mantuvo durante tres años, sobre la integral de la ecuación del movimiento calorífico en un elipsoide homogéneo cuya superficie radia constantemente el calor, tema que tampoco fué bien resuelto, á juicio de la sabia corporación citada, y que ha encontrado luego tantos cultivadores <sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> *Leçons sur les fonctions inverses des transcendentes et les surfaces isothermes*, par G. Lamé.—París, 1857.

<sup>2</sup> *Leçons sur les coordonnées curvilignes et leurs diverses applications*, par G. Lamé.—París, 1859.

<sup>3</sup> Además del contemporáneo Résal, ya citado en una nota, hay otros autores sobre estas materias. En Francia, cuyo movimiento científico sirve de patrón al de España, publicó en 1873 Mr. Mathieu su *Cours de Physique mathématique*, que es simplemente una aclaración y un desarrollo de la obra de Lamé sobre el calor.

Ya he dicho que la Termostática se distingue por la elegancia y la profundidad del análisis que en ella se emplea: por esto pone en primer término Mr. Bertrand en uno de sus informes oficiales <sup>1</sup>, tratándose de los progresos del análisis matemático, á Lamé, ponderando el gran valor teórico de sus obras relativas á la parte que he llamado Termostática.

Es la Termodinámica, á la hora presente, la más joven de todas las ciencias físico-matemáticas ya constituidas: formada como tal en nuestros días ha adquirido sin embargo un desarrollo considerable y numerosas aplicaciones. Los medios analíticos que ha empleado, forzoso es confesarlo, son inferiores en valor teórico á los de la Termostática y aun de la mayoría de las ciencias físico-matemáticas, por más que algún autor los compare con los de la Mecánica celeste, de la Óptica y la Electro-dinámica <sup>2</sup>; pero el encadenamiento y enlace de todas sus partes es en cambio superior al de muchas de ellas. Parece que esta ciencia adolece de la tendencia práctica de nuestro siglo; pero sus compañeras prueban que si se distingue la época presente por la utilidad y vulgarización de los conocimientos, no se olvida de los estudios teóricos y especulativos, base y sólido fundamento de ulteriores aplicaciones.

Ya los físicos del pasado siglo <sup>3</sup> habían descubierto las propiedades llamadas calórico específico y latente de los cuerpos <sup>4</sup>; ya Rumford, al finalizar aquel, había observado que el trabajo mecánico se transforma en calor por el frotamiento, que es el caso recíproco de lo que ocurre en las máquinas térmicas, todo

---

<sup>1</sup> *Rapport sur les progrès les plus récents de l'analyse mathématique*, por G. Bertrand.—París, 1867, página 1.

<sup>2</sup> Secchi, *L'unité*, etc., página 162.

<sup>3</sup> El P. Secchi hace en su conocida obra un resumen histórico de la Termodinámica, á partir de las indicaciones de Newton; atiende á los desarrollos de las teorías más bien que á la parte bibliográfica.

<sup>4</sup> Descubrió la primera el escocés Wilke en 1792.



como respondiendo al antiguo aforismo *motus est causa caloris*; al comenzar el siglo actual dan Gay-Lussac y Dalton la ley empírica relativa á la dilatación de los cuerpos <sup>1</sup>, Davy en 1812 dice terminantemente que el calor reconoce por origen el movimiento, y Grove predice más tarde la correlación de todas las fuerzas físicas. Publica en 1824 Sadi-Carnot (hijo del célebre autor de la Metafísica del cálculo) una obra, en la cual, á vuelta de errores, y con carácter de aplicación, se exponen algunas ideas que más tarde habían de utilizarse en la Termodinámica <sup>2</sup>. Poco después da á luz Clapeyron una memoria sobre la potencia motriz del calor <sup>3</sup>, y en 1842 se imprime otra en Alemania debida al médico Mayer, que es el verdadero punto de partida de la Termodinámica <sup>4</sup>; en ella se trata por primera vez del *equivalente mecánico del calor* y se colocan los cimientos de la nueva ciencia. Los físicos contribuyen desde entonces á examinar su comprobación experimental, como Joule (este más que ningún otro), Regnault, J. Thomson, Tyndall, Hirn, Fairbairn, Seguin; los matemáticos elevan el edificio de la ciencia, en especial Clausius (este más que nadie) <sup>5</sup>, Zeuner <sup>6</sup> y Helmholtz en Alema-

---

<sup>1</sup> Esta ley se llama en Inglaterra de Dalton, y en el continente europeo de Gay-Lussac, así como se designa en aquella nación con el nombre de Boyle, la ley atribuída ordinariamente á Mariotte. La obra de Davy es la *Chemical Philosophy*.

<sup>2</sup> *Reflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres á développer cette puissance*. Paris, 1824 (reimpresa en 1878).

<sup>3</sup> *Mémoire sur la puissance motrice de la Chaleur*. *Journal de l'Ecole polytechnique*, 1834.

<sup>4</sup> La primera memoria suya dice, traducida: «Observaciones sobre las fuerzas de la naturaleza inanimada», publicada en los anales de Wholer y Liebig, en Mayo de 1842. Posteriormente dió á luz otras sobre este asunto, empleando en ellas más el razonamiento puro que el análisis matemático.

<sup>5</sup> Publicó varias memorias á partir de 1850, y en 1864 una obra sobre la *teoría mecánica del calor*.

<sup>6</sup> Su obra, impresa en Freiberg en 1860, fué traducida al francés por

nia <sup>1</sup>; en Inglaterra W. Thomson <sup>2</sup>, Rankine <sup>3</sup> y Guthrie Tait <sup>4</sup>.

En Francia se han dado á la estampa varias obras, casi todas de mera compilación; entre ellas merecen citarse en primer término, como método, la de Briot <sup>5</sup>, y además las de Verdet <sup>6</sup>, Dupré <sup>7</sup> y algunos trabajos de Combes <sup>8</sup>, Reech <sup>9</sup>, Hirn <sup>10</sup>, Jacquier <sup>11</sup>, Cazin <sup>12</sup>, Seguín <sup>13</sup> y otros; en Italia las de

Hirn, con el título de *Exposition analytique et expérimentale de la théorie mécanique de la Chaleur* (París, 1862), de la cual hay una segunda edición de 1865. Fué nuevamente traducida de la segunda edición alemana en 1869 por Arnthal y Cazin con el título de *Théorie mécanique de la Chaleur avec ses applications aux machines*.

<sup>1</sup> *Mémoire sur la conservation de la force*, traducida por Pérard; un folleto (París, 1869); data de 1847.

<sup>2</sup> Ha publicado varias memorias en el órgano oficial de la Academia de Edimburgo, desde 1849 en adelante.

<sup>3</sup> Ha dado este gran ingeniero numerosas memorias á la Academia de Edimburgo, y algunas otras: la más conocida es *A Manuel of the Steam engine*. Londres, 1861.

<sup>4</sup> Este sabio profesor es autor de una historia de la Termodinámica, traducida al francés por Moigno con el título de *Esquisse historique de la théorie dynamique de la Chaleur* (París, 1870). Publicó también una obra con Thomson sobre *Natural phylosophy*.

<sup>5</sup> *Théorie mécanique de la chaleur*, París, 1869.

<sup>6</sup> *Théorie mécanique de la chaleur*, que forma parte de sus obras póstumas.

<sup>7</sup> *Théorie mécanique de la chaleur, par Mr. Athanase Dupré, en commun avec Mr. Paul Dupré*. París, 1869.

<sup>8</sup> *Exposé des principes de la théorie mécanique de la chaleur et de ses applications principales*. París, 1869. Se empezó á publicar en el *Bulletin de la Societé d'Encouragement*, á partir de 1863.

<sup>9</sup> *Sur la théorie des machines motrices et des effets mécaniques de la chaleur*: París, 1867.

<sup>10</sup> *Théorie mécanique de la chaleur*. París. Dos tomos. 1875 y 1876.

<sup>11</sup> *Exposition élémentaire de la théorie mécanique de la chaleur appliquée aux machines*. París, 1867.

<sup>12</sup> *Théorie élémentaire de machines á air chaud*. París, 1865.

<sup>13</sup> Seguín reivindica una parte en la creación de esta ciencia. Véase el *Anuaire du Cosmos*, París 1870, página 337.

Saint-Robert <sup>1</sup>, Turrazza <sup>2</sup> y Matteucci <sup>3</sup>; en Dinamarca la de Colding, y en España las de los Sres. Echegaray <sup>4</sup>, Rojas <sup>5</sup> y la del autor de este discurso <sup>6</sup>, prescindiendo de los diversos artículos que han visto la luz en las Revistas científicas y técnicas.

Tan grande es el número de esta última clase de escritos en las publicaciones extranjeras, que sería imposible indicarlos, y hasta la historia de la Termodinámica, con ser ciencia tan moderna, ha merecido obras especiales, una en Francia (1868), publicada bajo los auspicios del Ministro de Instrucción pública, y la de Tait en Inglaterra (ya citada), reivindicando para su nación varios descubrimientos en esta ciencia, que se atribuyen los físicos y matemáticos alemanes.

Las cuestiones empíricas del calor en sus efectos sobre las trasformaciones de la materia, las leyes de Mariotte y Gay-Lussac, las capacidades caloríficas y latentes, la constitución de los gases, varios problemas dispersos de la Física y aun las leyes de la combinación química de los gases, han venido á constituir como una aplicación de la teoría mecánica del calor á la ciencia física, y todo este conjunto, con el nombre de Termodinámica, es la nueva ciencia que, robusta y elegante,

<sup>1</sup> *Principes de Thérodynamique*. Turín, 1865. Hay otra edición posterior.

<sup>2</sup> *Teoría dinámica del calórico, Memoria del Instituto Veneto*, 1859.

<sup>3</sup> Matteucci, *Cinque lezioni sulla teoria dinamica del calore*. Turín, 1864.

<sup>4</sup> *Termodinámica* publicada en la *Revista de obras públicas* y en los *Anales de Química*; está sin concluir (1870).

<sup>5</sup> *Termodinámica*, su historia, sus aplicaciones y su importancia. Memoria premiada por el Ateneo barcelonés. Barcelona, 1876.

<sup>6</sup> *Teoría y cálculo de las máquinas de vapor y de gas. con arreglo á la Termodinámica*. La preceden unas nociones de esta ciencia, y tiene como apéndices los cambios de estado, la teoría moderna de los gases, y un estudio nuevo y original sobre la dilatación de los cuerpos por el calor. Madrid, 1872.

se presenta como uno de los títulos de gloria de las generaciones modernas. Aún falta mucho que hacer, pero el impulso está dado, y dentro de pocos años la Termodinámica será quizás la ciencia físico-matemática más extensa y completa.

Algunos objetan á la Termodinámica el que se apoya demasiado en la experimentación; pero si hoy no es dicha ciencia verdaderamente compuesta en todas sus partes, está en vías de serlo y el postulado de Clausius, que algunos presentan como inconveniente para ello, es, según notan ciertos autores, un verdadero axioma, ó una consecuencia del conocido principio recíproco de la imposibilidad del trabajo perpetuo.

La teoría matemática de la electricidad se ha dilucidado al par de la Termodinámica, pero ha adquirido en estos últimos años un vuelo tal, por efecto de los estudios realizados por los sabios ingleses, que está en un periodo de formación, lo cual dificulta la exposición de su desarrollo y contenido.

Las leyes de la distribución de la electricidad en los cuerpos y las de su equilibrio eléctrico, constituyen el objeto de la Electroestática. Así como la ley de Newton, relativa al enfriamiento, sirve de apoyo á la Termostática, así también la de Coulomb es la base de la Electroestática: observada por el físico francés á fines del siglo pasado, dice que la atracción ó repulsión eléctrica entre dos cuerpos elementales es directamente proporcional á la atracción eléctrica de las masas é inversamente al cuadrado de sus distancias, ley análoga á la de la acción planetaria, que lleva también el nombre del gran Newton. Preciso es, por consiguiente, apoyarse en la teoría del potencial, función empleada en la Mecánica celeste y en la teoría de la electricidad, cuya importancia en la Física dió lugar á la notable obra del antes citado profesor berlinés, que con

el epígrafe de *Introducción á la Física-matemática* se ocupa de este asunto <sup>1</sup>.

El primer trabajo analítico importante sobre Electrostática data de 1828, y débese al inglés Green <sup>2</sup>, si bien Poisson había hecho algo en este asunto <sup>3</sup>: este estudio de Green pasó desapercibido para sus contemporáneos, y se ha reimpresso y apreciado casi en nuestros días. Otro matemático inglés, Harris, publicó en 1834 una Memoria sobre la electricidad estática <sup>4</sup>: el eminente alemán Gauss se ocupó por entonces de este asunto, especialmente del magnetismo <sup>5</sup>, teniendo valiosos imitadores entre sus compatriotas Riess, Weber, Neumann, Lenz y otros.

En Inglaterra inicia Faraday, con su penetrante ingenio, varias cuestiones, que desarrolla luego un matemático tan famoso como Guillermo Thomson, el cual desde 1845 se ocupa ya de estos asuntos <sup>6</sup>, seguido de cerca por Clerk Maxwell, autor de la obra más notable inglesa sobre electricidad, imitada ó ampliada por Gordon, Everett y otros <sup>7</sup>.

La función potencial, cuya importancia expondré más adelante, fué ideada por Laplace, quien la publicó en una Memoria en 1782, aplicada á la atracción de la materia, y luego en

<sup>1</sup> *De la fonction potentielle et du potentiel*, por Clausius, traducida del alemán, por Folie. París, 1870.

<sup>2</sup> *An essay on the application of mathematical analysis to the theorie of Electricity and Magnetism*. Nottingham, 1828.

<sup>3</sup> Biot en su obra de Física de 1816 (tomo 2.º, página 291), indica los estudios de Poisson.

<sup>4</sup> *An inquiry into the elementary laws of electricity*.

<sup>5</sup> *Intensitas vis magneticæ terrestris ad mensuram absolutam revocata*. Gottinga, 1832.

<sup>6</sup> *Note sur les lois élémentaires de l'électricité statique*, publicada en el *Journal de Mathématiques* de Liouville el año de 1845.

<sup>7</sup> *Traité expérimental d'électricité*, por J. E. H. Gordon, traducción francesa de J. Raynaud. París, 1881. Dos tomos gruesos.

su Mecánica celeste; usóla también Green; pero Gauss fué quien dió el nombre que lleva <sup>1</sup>.

Los escritos novísimos sobre Electrostática son muchos: Neumann ha publicado varios en Alemania, y ya he citado los principales autores y creadores ingleses. Los libros franceses, de recapitulación casi todos ellos, que se han impreso en estos últimos años son las obras de Verdet y de Briot, ya citadas, y además las del profesor de esta asignatura en el colegio de Francia, Mr. Mascart <sup>2</sup>.

La Electrodinámica no se separa de la Electrostática con la misma precisión que la Termodinámica de la Termostática, porque no se puede atender exclusivamente al carácter de trabajo que sirve de criterio distintivo en estas últimas, ni menos limitar la Electrodinámica á la acción de las corrientes eléctricas; cuestión que en buena lógica se encuentra en todo fenómeno de electricidad. Lo que sí es indudable, es que el magnetismo propiamente tal, el electromagnetismo y los fenómenos de inducción entran de lleno en la Electrodinámica, cien-

<sup>1</sup> El autor de este discurso ha publicado en el *Boletín de la Asociación central de Ingenieros Industriales*, de Abril, Mayo y Junio de 1882, una *Introducción á la teoría matemática de la electricidad*, en la cual se trata extensamente del potencial y sus fases. (Entregado este discurso en la Academia á fines de Octubre de 1882, sea dicho de una vez para todas, solo añade el autor del mismo, que posteriormente ha completado dicha *Introducción*, y ha hecho una tirada especial de la misma. Todas las citas bibliográficas llegan, por lo tanto, hasta la fecha de la entrega ya citada.) El Sr. Ariño en sus *Lecciones de Mecánica racional* (Madrid, 1880), se ocupa del potencial en el tomo I, página 156 y siguientes.

<sup>2</sup> *Traité d'Electricité Statique*. París, 1876. Dos tomos en que se tratan las cuestiones bajo el aspecto experimental y el matemático.

*Leçons sur l'Electricité et le Magnetisme*, por Mascart y Joubert. París, 1882. Son dos tomos, de los cuales solo ha visto la luz el primero, muy grueso, dedicado, con carácter exclusivamente matemático, á los fenómenos generales y teoría.

En el *Journal de Mathématiques* de Liouville, ha comenzado á publicar Résal desde el número de Julio, una teoría de la Electrostática.

cia cuya importancia crece de día en día, y cuyas aplicaciones maravillan y asombran á los hombres científicos más aún que al vulgo.

Coulomb dió, según queda dicho, la base hipotética de que algunos parten para establecer la Electroestática. Hacia 1820 ideó Ampere la base de la acción mutua de las corrientes, introduciendo la consideración de los solenoides, estableciendo la fórmula que sirve de fundamento á la Electrodinámica é invirtiendo el razonamiento que anteriormente había hecho el sueco Oersted al querer deducir la electricidad del magnetismo. Weber trató de sintetizar ambas en una sola fórmula más general.

Pocos años después de Ampere, (en 1827), idea el alemán Ohm <sup>1</sup> sus leyes, que no fueron apreciadas, ni con mucho, por sus contemporáneos, y no bien la Termodinámica comienza á fructificar, hacia 1845, se trabaja también en la Electrodinámica por diversos investigadores, entre los cuales citaré á Helmholtz, el sabio contemporáneo de mayor cultura y á quien se deben investigaciones fisiológicas, físicas y matemáticas, y que ha publicado obras diversas sobre estos ramos del saber <sup>2</sup>. Sus compatriotas Kirchof, Riemann y otros, además de los citados en la Electroestática, han contribuido al adelantamiento de la ciencia. Sin embargo, hay en las teorías matemáticas de la electricidad, no tan sólo ciertos vacíos, sino lo que es peor, algunas contradicciones, y principalmente cierta oscuridad que hace á las veces que éstas aparezcan ó se oculten ante el lector

<sup>1</sup> Su memoria no se tradujo al francés hasta 1860 por Mr. Gaugain. *Théorie mathématique des courants électriques.*

<sup>2</sup> Bien conocidas son las magníficas obras sobre teoría fisiológica de la música, en que se incluyen las explicaciones del *timbre* y de la visión, de dicho autor. La memoria á que especialmente me refiero, se tradujo (según dije en una nota anterior), al francés en 1869, con un preámbulo del autor sobre la transformación de las fuerzas naturales, que es un verdadero modelo de resumen y de estilo.

de las obras más aceptadas, lo cual no desaparecerá hasta que se rehaga la exposición científica por un método más racional y perfecto, cuyo defecto ha sido expuesto por algunos investigadores contemporáneos <sup>1</sup>.

Preocupada Inglaterra por las grandes aplicaciones de la Electricidad y por las maravillas de los fenómenos de inducción, y viendo que faltaba hasta la unidad para medir las fuerzas eléctricas, nombró una comisión para que realizara experimentos á través de los cables trasatlánticos y para que sacara la cuestión del carril estrecho en que hasta entonces se movía. Esta comisión, debida á la Asociación Británica en 1861, y cuyos trabajos se han ido publicando, ha contribuido grandemente á la constitución racional de la Electrodinámica, estableciendo un criterio fijo en medio de la aparente diversidad en que se habían lanzado los inventores y los experimentalistas <sup>2</sup>. El Congreso celebrado en París en Octubre de 1881, al mismo tiempo que la Exposición de Electricidad, ha nombrado una Comisión internacional para fijar bien algunas de dichas unidades en su parte práctica, cuestión que como todas las de

<sup>1</sup> Véase, por ejemplo, la nota publicada en las *Comptes rendus* de la Academia de Ciencias de París, correspondientes á la sesión de 9 de Octubre último por Ledieu, titulada «Objeciones del orden mecánico á la teoría actual de la electricidad.»

<sup>2</sup> Por no acumular más nombres, no cito los muchos autores é investigadores ingleses sobre diversos puntos de la Electrología, ya sobre sus unidades, ya sobre teorías parciales: los informes de dicha comisión forman un verdadero arsenal científico. Respecto de Sir Guillermo Thomson (creado *baronnet* por sus estudios), hay una biografía suya publicada en la *Revue Scientifique* de 1876, en la que constan las siguientes palabras de Helmholtz, enalteciendo á Thomson por «haber destruído el divorcio, tan poco razonable, que separaba en otro tiempo la Física experimental de la Física matemática, y reducido esta última á no ser otra cosa que la expresión precisa y pura de las leyes de los fenómenos.» En el tomo 8.<sup>o</sup> de la 9.<sup>a</sup> edición de la Enciclopedia británica (1878), hay en la voz *electricity* un buen estudio del profesor Crystal, con la historia del asunto (muy favorable á sus compatriotas), y las teorías matemáticas modernas.



electricidad, preocupa hoy más que ninguna de la Física, lo mismo á los sabios que al vulgo, en vista de los rápidos progresos realizados en estos últimos seis años. ¡Prueba incontestable de su gran importancia y elevación!

### III.

He procurado examinar el contingente científico que han traído á esta rama de los conocimientos humanos los diversos sabios que de ella se han ocupado, en particular los del siglo que corremos. Pero antes de entrar más de lleno en las relaciones cuantitativas de estos diversos conocimientos, preciso me es fijar su valor lógico dentro de la ciencia matemática, cosa que haré sintéticamente y con el menor número de palabras que me sea posible.

La Matemática es ciencia racional que versa sobre la categoría intelectual de *cantidad*, ó sea *relación mutua* de varias cosas, sean éstas materiales ó ideales. La Física es ciencia experimental, que trata de la categoría intelectual de *cualidad*, ó sea de todo lo referente á las *propiedades características* de las cosas, pero limitándose exclusivamente á las materiales. Llamamos *magnitud* á la cantidad de la cantidad: hay también cualidad de la cantidad (ó sea cualidad en el campo de la lógica), que engendra los conceptos de *afirmación*, *negación* é *indiferencia*, correspondientes á positividad, negatividad é imaginarismo, representables geoméricamente por dos direcciones opuestas los primeros, y el tercero por una inclinada respecto de ellas, que será perpendicular en el caso más sencillo. Las fases principales de la cantidad son la *forma* y el *orden*; cuando la primera es *limitación coetánea* se llama *espacio*, y cuando *sucesiva* se denomina *tiempo*. Dicha forma se

refiere á los objetos materiales; el orden es para los de todo género.

De lo anterior se deduce que como las principales ciencias matemáticas tratan del tiempo y del espacio son naturales. El *movimiento* es un concepto complejo de espacio y tiempo: la ciencia que se ocupa de él es la Cinemática.

Ordinariamente no se concreta la especie de objetos sobre que versa cada rama matemática; cuando se fija la clase de éstos se obtiene una ciencia *aplicada*; ejemplos: la Aritmética mercantil, la Estereotomía. Pero si hay una verdadera composición entre los elementos matemáticos y alguna propiedad de los objetos materiales, de tal suerte que se crean algoritmos nuevos y no cabe distinguir las teorías que se toman de las ciencias puras, se obtienen las ciencias mixtas ó *compuestas*: ejemplo, la Mecánica. Con efecto, en ésta se admiten las ideas de *fuerza y masa*, y se parte de las tres leyes fundamentales bien conocidas, constituyéndose los modismos científicos de *cantidad de movimiento, fuerza viva, momento de inercia* y otros, sin que sea posible señalar las teorías completas de las matemáticas puras que aquí se aplican, ni comparar la forma de la nueva ciencia con la de aquellas. En la Aritmética mercantil, por ejemplo, sucede lo contrario; es la misma Aritmética pura, en cuanto á la forma lógica, sólo que las unidades son diversas y se efectúan las operaciones sobre magnitudes de otra especie.

Al combinar la Física con la Matemática puede hacerse esto de varios modos y se engendran así las diversas ciencias fisico-matemáticas, las cuales versarán sobre la cualidad de los objetos naturales, examinada no ya por la mera experimentación, sino con el auxilio de la Matemática. El objeto, pues, de las ciencias fisico-matemáticas es la *cantidad de la cualidad* de los objetos naturales.

Pero esta combinación puede efectuarse de dos modos: ó por simple *aplicación*, según el ejemplo de la Aritmética mercantil, ó por verdadera *composición*, según el de la Mecánica. En el primer caso no se obtienen realmente ciencias nuevas: su interés será más ó menos grande para los usos de la vida y para el ejercicio de ciertas profesiones, pero carecen de importancia en el orden intelectual. Las segundas, por el contrario, constituyen ciencias nuevas, susceptibles de traer al acervo común del saber humano investigaciones originales y desarrollos antes desconocidos. Estas son para mí las verdaderas ciencias fisico-matemáticas; y aunque este nombre suele darse por muchos á las unas como á las otras, reservaré, en lo posible, el nombre de Física-matemática para el conjunto de estas investigaciones compuestas <sup>1</sup>.

No me toca examinar aquí el estado actual de las ciencias físicas; básteme afirmar que por el desarrollo del conocimiento experimental de la Naturaleza y por las mil especialidades diversas que se han creado, y que vosotros, Sres. Académicos, cultiváis con solícito esmero, ha sido preciso subdividir las ciencias por la clase de objetos ó fenómenos á que se refieren, reservando el nombre de Física á la que estudia lo que hay de común en todos ellos, ó sea, en último término, las *cualidades generales* de la materia.

Esta misma generalidad del concepto de Física, que fué la de su origen en la antigua Grecia, y que justifica el nombre

---

<sup>1</sup> El desarrollo de lo que acabo de sintetizar en el texto, y aun de parte de lo que diré después en él, se encuentra en los siguientes impresos: *Concepto y clasificación de las ciencias fisico-matemáticas*, artículo de la *Revista de la Universidad de Madrid* (Agosto de 1873). *Discurso leído en la Universidad Central* en la apertura del curso 1875 á 1876, página 45 y siguientes. *Principios generales de la matemática*: en la citada *Revista*, en Noviembre de 1876.

de Filosofía natural con que se la designa en Inglaterra, se presta perfectamente á la composición con la ciencia de la cantidad, que tan vasta y comprensiva es. Ahora se comprenderá claramente porqué he definido antes á las ciencias físico-matemáticas como las que tratan de la *cantidad de la cualidad de la materia*, y ahora añadiré, en virtud de lo indicado últimamente, que esta definición debe reservarse propiamente para la ciencia compuesta llamada Física-matemática.

Ya puestos en el camino de componer la cantidad con la cualidad, ambas en el orden material, ó por lo menos de aplicar una á otra, se ha conseguido simplificar las ciencias, darlas unidad y carácter; en una palabra, sumar la ventaja de la precisión y rigorismo matemático con la riqueza y variedad de lo experimental. La mayoría de los conocimientos de la Naturaleza ha venido por este último camino, pero la ciencia no adquiere valor lógico y racional hasta conseguir entrar en el primer grupo. La inducción es la única escala ascendente en lo experimental, fácil de manejar, pero corta é insegura (y lo es más aún la analogía), mientras que la deducción es suave y segura pendiente, difícil y lenta en su arreglo, pero en la que no cabe error ni vacilación.

Y nótese que el razonamiento sigue estos caminos, preferentemente el último; pero que las matemáticas los encarriplan, y por eso deben emplearse allí donde sea posible: en la inducción con el cálculo de probabilidades y sus anejos, en la deducción con las ciencias aplicables á cada caso.

Spencer divide las ciencias en abstractas y concretas, pero como ellas no son sino relaciones de las cosas con el sujeto pensante, parece que todas deben ser abstractas. Además, limitándose á las que estudian la Naturaleza, no cabe más clasificación que por el método, pues el fin es el mismo en todas. Para dicho filósofo todos los conocimientos vienen de la expe-

riencia, ya directa, ya acumulada por las diversas generaciones, y las facultades son también producto de la experiencia organizada: esta doctrina elude la dificultad del problema del conocimiento racional, pero no la resuelve; la experiencia convertida en razón, ó la razón pura, apenas se diferencian.

El espíritu humano, anhelante en la consecución de la unidad científica, prefiere los procedimientos deductivos, y especialmente cuando se apoyan en el enlace y trabazón de las ciencias matemáticas. La caída de los graves observada por Galileo y experimentada con los aparatos más perfectos de los actuales gabinetes de Física, no satisface á la razón humana como el corolario de la atracción de dos cuerpos, conforme se estudia en Mecánica; en el primer caso es un conocimiento inductivo ó empírico, y si se da una fórmula para expresarlo, es tan solo como de ciencia aplicada; en el segundo caso es un conocimiento compuesto y seguro, con el mismo valor lógico de la Mecánica. Keplero obtuvo sus leyes por inducción: hoy se deducen de la general de Newton.

Esta evolución de las ciencias es la que he procurado presentar en sus diversos desarrollos al exponer la historia de la Física-matemática, y allí se ha visto cómo fué esta la aspiración de los geómetras griegos, pero que no comenzó propiamente hasta el siglo de oro de las matemáticas, gracias al descubrimiento del análisis infinitesimal y cuyo desarrollo se efectúa en nuestros días por el gran incremento que han tomado así los métodos experimentales como los matemáticos.

A esto obedece la tendencia constante de los científicos modernos: en primer término acumular observaciones y hechos para constituir con lo que resulte de común á todos ellos un conjunto armónico, que forme una ciencia experimental. La segunda etapa es aplicar á esta ciencia los procedimientos de otras, y revestirla, si es posible, del ropaje matemático, para

obtener así la ciencia aplicada. La tercera etapa consiste en componer los elementos cualitativos de esta ciencia con los cuantitativos, hasta conseguir una que entre en el cuadro de la Física-matemática.

Ejemplo bien visible de ello es cualquiera de las ciencias naturales modernas, y limitándome á una intermedia, en el camino recorrido, citaré la Cristalografía, que comenzó como una rama de la Mineralogía, por la curiosidad que presentaban ciertos cuerpos en su forma exterior y en sus fraccionamientos sucesivos: más tarde se aplicó la Geometría á dichos cuerpos naturales, originando esto, como en otros muchos casos, descubrimientos teóricos solicitados por la aplicación: hoy se tiende á deducir la forma que tomará al enfriarse ó al saturarse una masa líquida, dadas sus fuerzas elásticas y la repartición del calor en los diversos puntos, con lo cual se obtendrá una rama de la Termostática, que, si su importancia y carácter lo requieren, constituirá, andando los tiempos, una ciencia físico-matemática especial.

No es posible predecir la organización definitiva del saber humano en este conocimiento racional de la Naturaleza, dado el flujo y reflujo de las corrientes que influyen en él. El sistema filosófico predominante en cada época, el vuelo de la experimentación, el adelantamiento del análisis matemático, causa eficaz como pocas en este proceso, el advenimiento de esos genios fecundos, cuyas fuerzas alcanzan á remover la organización científica, y hasta las necesidades de la aplicación á los usos de la vida, en una época tan apegada á lo positivo como la nuestra, son los factores principales de la variación lenta, pero constante, que se efectúa en todos los órdenes del saber humano, y por lo tanto en el que estoy examinando. Con fuerza irresistible anhela el espíritu humano dar unidad al concepto que le merece el mundo de la materia, único á que

me toca referirme, pero también aspira á aumentar el caudal de sus conocimientos, y por eso parece que en muchos casos se aleja del primer fin, persiguiendo el segundo.

Difícil es, envueltos como estamos en el torbellino de la evolución, señalar el punto en que nos hallamos, ni predecir el derrotero en que mañana habremos de caminar.

Por eso es preciso conocer bien la marcha que han seguido las ciencias para examinar los puntos anteriores de su trayectoria, pues por efecto de la continuidad de la obra humana, como natural que es, podremos predecir los inmediatos siguientes con alguna aproximación, dadas las perturbaciones que introduce lo aleatorio y libre de la voluntad, á la manera que se modifica la órbita de un planeta por la proximidad á otros irregularmente colocados respecto de su camino y desigualmente atrayentes.

Con efecto: las ciencias Físico-matemáticas se han formado generalmente sobre el molde de los procesos naturales, hijos no tanto de la experimentación como del común sentir de las gentes. Atracción material, calor, luz, electricidad: he aquí los cuatro caracteres bien distintos en la Física moderna como en la antigua; pues si en esta última se desconocía alguno, no se le confundía ciertamente con los otros.

Del primero se deriva la Elasticidad, como tendencia de los elementos materiales á ocupar sus primitivas posiciones, cuando se les ha separado de ellas, entre ciertos límites, por una causa exterior: derivase también la Capilaridad, como atracción recíproca entre un sólido fijo y un líquido que puede moverse; y por último, la Acústica, que estudia las vibraciones isócronas del aire, debidas á las de un cuerpo material agente, y cuyas combinaciones producen, al llegar por el oído á nuestra alma, un medio de relación muy precioso, y en ciertos casos un deleite, el más espiritual quizás de todos los que nos

ocasiona la Naturaleza inanimada. Las investigaciones matemáticas sobre el calor forman la Termología, con las dos ciencias que he separado en el resumen histórico: lo mismo ocurre con la Electrología, siendo el magnetismo una rama de la Electrodinámica. En cuanto á la luz, hay la Optica física, que bajo este nombre encierra la verdadera teoría matemática del movimiento luminoso, y la Optica geométrica, que en rigor pudiera considerarse como ciencia aplicada, y que se refiere á fijar puntos y líneas especiales, conforme á las leyes de la reflexión y la refracción de la luz, mas algunas proposiciones que de ellas se derivan.

Atendiendo á la esencia de lo indicado anteriormente, parece que la Mecánica racional y la Astronomía, en lo que esta tiene de ciencia compuesta, especialmente la Mecánica celeste, debieran incluirse bajo el nombre genérico de Física-matemática. Así es realmente, y quizás andando los tiempos pueda hallarse un cuerpo de doctrina general y común á todas estas materias. Hoy no existe propiamente, porque si bien los resultados de la Mecánica son aplicables á las otras ciencias, no hay entre todas la suficiente unidad y subordinación á algún principio común, ni menos enlaces mutuos, claros y precisos, que permitan aseverar lo indicado. De aquí el fraccionamiento de estas ciencias, no tanto para facilitar su estudio, como por las necesidades lógicas de su misma constitución actual.

La Mecánica racional es la base de las carreras teóricas y técnicas, y por todos se admite ya como formando parte del cuadro de las matemáticas. Generalmente se limita á las fuerzas exteriores y movimientos totales, aunque en ella se inician las cuestiones de movimientos moleculares y fuerzas interiores, y la relación de estos con aquellos. La Elasticidad, la Capilaridad y la Acústica pudieran sin inconveniente incluirse dentro de la Mecánica; pero atendiendo á la separación indicada,



pertenece hoy á la Física matemática y forman el eslabón entre ambas.

La continuidad que caracteriza á todo lo natural, ó más bien á todo lo finito, constituye también relaciones íntimas entre esta Mecánica molecular ó principio de la Física matemática, que designo con el nombre genérico de Atomología, y el resto de esta última ciencia. Y con efecto, la Termodinámica y la Electrología han venido á relacionar de un modo indeleble los fenómenos puramente mecánicos con los meramente físicos por medio de lo que se llama el equivalente mecánico del calor, los de disociación y la electrolisis. Por esto es difícil separar estas ciencias y fijar sus linderos de un modo preciso, atendiendo sólo á su valor lógico, y por esto también he expuesto el contenido de la Física-matemática á partir de la Elasticidad, dado el estado actual del saber.

Respecto de la Astronomía, la separación es sencilla, atendiendo á que se refiere exclusivamente al estudio de los astros como tales, si bien estos se hallan sujetos á las leyes generales de la materia, conforme se comprueba de día en día por las cuestiones de análisis espectral, por los experimentos de Plateau y aun por las teorías de Laplace, que, según dije, dieron la base de la teoría matemática de la Capilaridad.

Lo que queda dicho y lo que indicaré más tarde respecto á teorías comunes á la Mecánica celeste, calor y electricidad, con lo mucho que omito con razón á la brevedad, dejan entrever, aun sin ser arrastrados por la fantasía, que por este lento y constante trabajo de las ciencias se ha de llegar á darles una nueva forma más sencilla y natural. Con efecto, el conocimiento del mundo de la materia por el espíritu humano, ó sea las ciencias naturales en general, se simplificará más y más; que el progreso consiste en hallar principios generales, y es tanto más sabio aquel que ve las cosas reducidas á menor

número de leyes fundamentales, pudiendo decirse que para Dios sólo hay una clara y perfecta, de la cual todo se deriva y simultáneamente se comprende por su infinita inteligencia.

Quizás este siglo, cuyos trabajos de detalle son pasmosos, pero que no ha dado matemáticos de tan altos vuelos como los dos anteriores, ni tampoco comparables con los filósofos que en él han florecido, termine su carrera, meramente artificial, con el advenimiento del Euclides ó del Newton, que sintetice y unifique los copiosos materiales acumulados.

#### IV.

Tres clases de relaciones ó enlaces distingo entre las diversas ciencias físico-matemáticas. Una es la analogía meramente física, ó sea de cualidad material, que no merece gran importancia por ser tan sólo hija de los sentidos en muchos casos y no tener trascendencia fuera del experimento. La segunda es la analogía matemática, ó sea cuantitativa, que se refiere á la forma del análisis y procedimiento que se emplea en las diversas ramas de este saber: tampoco posee gran interés semejante camino. Por último, hay la paridad del algoritmo físico-matemático, del modismo cuantitativo, en otros términos; ó sea del elemento compuesto que resulta en unas y en otras investigaciones. Este es el punto capital que me toca ver de cerca, pues en él creo que se halla el porvenir, tanto para el progreso como para la unidad, y es el que voy á examinar en esta parte de mi discurso, haciendo al paso algunas ligeras observaciones sobre los otros dos grupos de analogías.

Precisamente estos algoritmos constituyen, según he dicho más de una vez, el carácter distintivo de la Física-matemática, y se parecen en esto á los que hay en la Mecánica ra-

cional, como ciencia compuesta; la cantidad de movimiento, la fuerza viva, el momento inercia y otros varios <sup>1</sup>.

El más importante de todos á la hora presente es el que se designa con el nombre de *potencial*. La integración de la ecuación del trabajo elemental no es posible en la mayoría de las veces, según se dice en todos los tratados de Mecánica: uno de los casos de integración es cuando las fuerzas son centrales, ó mejor dicho, cuando la intensidad varía en razón inversa del cuadrado de la distancia de los elementos que se atraen mutuamente. La integración de la citada ecuación diferencial es una función de tres variables, que se designa con el nombre de *superficie de nivel*. Se demuestra que en ella la fuerza es constantemente normal á la superficie, y que por lo tanto no se realiza ningún trabajo mecánico al moverse un cuerpo sobre ella: se prueba también que un cuerpo que pase de un punto cualquiera de una superficie de nivel á un punto también cualquiera de otra efectúa el mismo trabajo mecánico, sea cualquiera la longitud del trayecto.

Partiendo de la ley de Coulomb, ó mejor de la consideración de que la Electricidad sólo es sensible en la superficie exterior de los cuerpos, se prueba fácilmente que en el proceso eléctrico, como en todos los de acción mútua conforme á dicha ley, las componentes de la fuerza eléctrica son los coeficientes

---

<sup>1</sup> No conozco ningún tratado en que se cotejen estas materias, salvo las indicaciones de algunos libros modernos de Electricidad. En cambio hay algunos de aclaración y desarrollo de la parte meramente analítica, como el antes citado de Mathieu en Francia, y el del acreditado autor inglés Todhunter, titulado *An elementary Treatise on Laplace's functions, Lamé's functions and Bessel's functions*; Londres, 1875, que es un desarrollo de ciertas funciones, series y fórmulas de Astronomía y de Física-matemática.

En España se ha publicado algo de estos asuntos en las Revistas científicas por los autores citados en otras notas, y por los distinguidos ingenieros Sres. Canalda y Pérez de la Sala.

diferenciales parciales de una función, la cual es precisamente igual á la ecuación de la superficie de nivel. Esta función es el potencial. De aquí llamar también equipotencial á dicha superficie.

Dedúcese también que si hay un punto atrayente y varios atraídos, el trabajo realizado al considerar el paso de un punto atrayente á otro, es igual á la diferencia de los potenciales, ó sea de las funciones que representan la atracción ejercida por el punto atrayente sobre el conjunto de puntos atraídos. Si la cuestión se limita á un sólo punto atrayente, podremos definir el potencial con respecto á éste, diciendo que es el trabajo desarrollado por la unidad de electricidad situada en este punto, cuando se aleja hasta lo infinito, mientras quede constante, durante este alejamiento, la distribución eléctrica del sistema de puntos atraídos.

Otra propiedad fundamental del potencial, y de la cual se deducen muchas consecuencias teóricas, es que la suma de los coeficientes diferenciales de segundo orden es nula si el punto atrayente es exterior al sistema de puntos atraídos, y tiene un valor numérico en el caso en que aquel sea interior á éstos.

Los físicos ingleses han llamado *línea de fuerza* á la envolvente de las posiciones que toma la fuerza, que según lo dicho es constantemente normal á las diversas superficies de nivel; y *tubo de fuerza* á un canal limitado por dichas líneas, y cuya directriz es una curva cerrada que se trace en una superficie de nivel. En las acciones gravitatorias, son rectas verticales dichas líneas, y los tubos citados forman conos, cuyo vértice está en el centro del planeta atrayente.

Tal es la base de la Electrostática, cuyas relaciones con la atracción planetaria quedan indicadas al paso. Fácil fuera también hallar las relaciones con el campo magnético, de gran importancia en la Electrodinámica.

La ecuación elemental del flujo de calor, ó sea de la cantidad de esta energía que atraviesa por un elemento de superficie durante un tiempo infinitesimal, permite llegar, en el caso de un paralelepípedo cuyo régimen calorífico está establecido, á una ecuación diferencial lineal de segundo orden, que es precisamente la citada antes para el potencial; de donde se deduce que la función de dicha ecuación (que es la temperatura), representa en la Termostática el mismo papel que el potencial en la Electroestática y que la superficie de nivel en la Mecánica celeste, así como flujo calorífico, fuerza eléctrica y presión de un fluido son en el fondo una misma cosa, medible respectivamente con auxilio del termómetro, por la distancia á que salta la chispa, y con el manómetro. De modo que apesar de la divergencia física de atracción, electricidad y calor y de la singularidad aparente en la repartición superficial de la segunda, se llega á una función común en la teoría matemática de estos tres agentes naturales, y se deducen á la par las leyes que presiden á su distribución.

La superficie isoterma de la Electroestática es análoga á la equipotencial ó de nivel, y el flujo de calor es el coeficiente diferencial de la temperatura, como la fuerza eléctrica lo es del potencial. Y nótese que este potencial desempeña en las teorías de la Elasticidad y de la Capilaridad, el mismo papel que en la atracción, como quiera que en éstas el principio fundamental es el mismo que para la primera <sup>1</sup>.

Otro modismo, ó sea principio de gran interés común á todo linaje de investigaciones naturales, y que se ha divulgado mucho más que el anterior, por ser fácilmente comprensible, aun desnudándole de todo ropaje matemático, es el que se conoce

---

<sup>1</sup> A esto aludía en la nota relativa á la obra de Fourier sobre el calor, y al escrito de Mr. Résal.

con el nombre de *conservación de la energía*. No le antepongo á él porque realmente es una consecuencia suya, en el orden cuantitativo al menos, pues aun en el caso concreto de puntos atra-yentes entra el trabajo, que es la forma mecánica de la energía. El principio de la equivalencia entre la fuerza viva y el trabajo viene siendo, desde hace bastantes años, uno de los fundamentales de la Mecánica y de gran utilidad en la aplicación á la teoría de las máquinas, sobre todo teniendo en cuenta los dos sumandos, trabajo útil y resistencias pasivas. En términos más generales se enuncia diciendo que cuando no hay fuerzas exteriores á un sistema la suma de las fuerzas vivas del mismo es constante, y de aquí el nombre de principio de la conservación de la fuerza viva ó del trabajo.

No bien se comenzó á sospechar la equivalencia entre el calor y el trabajo mecánico, se entrevió que este principio pudiera aplicarse á los efectos producidos por cualquier medio natural susceptible de transformarse en lo que se llama un motor industrial. Por esto se ideó en Inglaterra la voz más comprensiva de *energía*<sup>1</sup>, añadiendo el adjetivo *actual* para el trabajo mecánico manifiesto, y el de *potencial* para toda energía natural susceptible de transformarse en actual, tomando dicho adjetivo de uno muy usado por los metafísicos antiguos.

Este principio de la conservación de la energía se ha dilucidado de tal suerte y se han estudiado sus consecuencias con tanta minuciosidad, ya en un fenómeno especial, ya en la energía toda del sistema planetario, en las máquinas motrices como en los seres animados, que es sabido por toda persona culta de nuestros días. Hasta se ha abusado de él, exagerando

---

<sup>1</sup> Mr. Guillermo Siemens, en el discurso pronunciado en Setiembre último sobre la Física y sus aplicaciones, al inaugurar la reunión anual de la Asociación británica, atribuye á Young la invención de esta palabra, pero el que la ha propagado ha sido después el profesor Rankine.

en ciertos casos sus consecuencias, y aplicándolo con grave error, por quienes no tenían idea clara de su esencia, á fenómenos en los cuales había fuerzas exteriores al sistema, sin tener en cuenta el trabajo debido á dichas fuerzas.

El principio de la conservación de la energía es realmente el más fecundo de la Física, y ha venido á servir de complemento al de la conservación de la materia enunciado por Lavoisier á fines de la pasada centuria: no hay creación ni aniquilamiento de energía, como no las hay de materia: sólo existe una transformación continua de ambas cosas. Proteo gigantesco cambia de faz la materia en su cantidad y en ésta su cualidad fundamental de la energía; pero la materia en peso y la cantidad de esta cualidad no varían, proclamando á la par la unidad de la primera y la constancia de la segunda.

No fuera inoportuno en este sitio decir algo sobre la existencia ó no de la fuerza, en el concepto de causa ó agente; y si ésta es sólo una abstracción de los mecánicos y físicos; ó en otros términos, de si no hay realmente más que energías, fuerzas vivas anejas y como pegadas á la materia misma; ni sería tampoco ocioso inquirir si la materia á su vez se determina tan sólo por la cualidad de su energía. Omito, sin embargo, el desarrollo de estas consideraciones, referentes á la Filosofía de la Naturaleza, porque no son propias del tema de este discurso, cuyo carácter es predominantemente matemático. Sólo diré, dentro de él, que la moderna teoría de los gases, cuyo principio fué entrevisto por uno de los más ilustres Bernouilly, está fundada en explicar la presión de éstos sobre las paredes del vaso que los contiene, por la energía del movimiento de traslación de que se hallan animadas sus moléculas, y que la existencia de dicha presión, como de otras fuerzas, parecen ser más bien hipótesis que causas en la explicación racional de los fenómenos.

De todas suertes el principio de la conservación de la energía es fecundo no sólo en el caso de cuerpos materiales y de sus elementos infinitesimales, sino también aplicado al éter, cosa hipotética, indispensable hoy para dar fundamento á algunas teorías de la Física, especialmente á las de la luz. La igualdad de fuerzas vivas entre la masa etérea incidente y las reflejada y refractada es el punto de partida de la Óptica moderna.

La Termodinámica no es otra cosa que la teoría mecánica del calor, con lo cual queda dicho todo. Su primer principio fundamental es el de la equivalencia entre el calor y el trabajo; y el segundo, llamado de igual rendimiento, demuestra que el trabajo realizado por el cambio de calor que lleva un cuerpo, al pasar desde una temperatura á otra, no depende en modo alguno de la naturaleza de este cuerpo, sino del desnivel térmico, ó sea de la diferencia de temperaturas extremas del cuerpo en su recorrido hasta volver al caso primitivo, que llamamos ciclo. Esto ha venido á dar gran luz sobre la teoría de los motores de vapor, y en general de los que emplean la energía de un combustible para transformarla en fuerza motriz; creíase antes que cambiando la naturaleza del líquido que hierve en la caldera se aprovecharía mejor la fuerza del combustible, y se ha visto que dicho aprovechamiento sólo depende de la diferencia de temperaturas del vapor entre la caldera y el condensador, la cual ciertamente aumenta con la naturaleza del vapor, pero sólo en el caso en que se utilice la diversa temperatura de condensación del mismo.

En la Electrología se encuentran analogías con los dos principios citados: el primero es la base del cálculo en la transmisión de energía por las corrientes, y en nuestros días se ha visto prácticamente que no sólo se transforma la electricidad en fuerza motriz, como en los telégrafos, sino que recíproca-



mente, la fuerza motriz de una máquina de vapor se convierte en corriente eléctrica, capaz de iluminar las poblaciones y las casas. El segundo principio se aplica á los condensadores (como la botella de Leyden), pues el trabajo eléctrico es función sencilla de la diferencia de sus potenciales.

El estudio de la energía eléctrica en sus relaciones con la Química, habida en cuenta también la energía calorífica, está á punto de trasformar en nuestros días el estudio de la composición y descomposición de los cuerpos, si bien la Química mecánica no es á la hora presente más que una aspiración de los que desean sacarla del carácter inductivo para elevarla al deductivo, y las teorías iniciadas tienen mucho más de ciencia aplicada que de compuesta.

Los principios anteriormente citados, no solo unifican diversas ramas de la Física, sino que confirman la ley general de continuidad de la materia, base y esencia de la posible aplicación del cálculo. Los cambios de estado de la misma nada tienen de singular, si al par que á la forma sensible se atiende á la distribución del calor, y la disociación, la disolución y otros fenómenos se comprenden todos bajo las mismas fórmulas que dichos cambios y que las trasformaciones aparentes de las reacciones químicas, siendo todos ellos prueba patente de la continuidad y semejanza en medio de saltos y variaciones aparentes.

El rumbo introducido en la Física por las investigaciones modernas, ha traído como consecuencia ineludible la necesidad de nuevas unidades que sirvieran de patrón á los elementos cuantitativos, nuevos también, y á la variación que han sufrido algunos de los antiguos, especialmente en lo referente á electricidad, probándose de este modo la fusión y compenetración de los elementos teóricos con los prácticos, desembarazando las fórmulas de coeficientes empíricos y parásitos. Los

físicos ingleses han realizado este cambio, cuya divulgación se echa de menos. Convendría también ampliar el examen de las unidades á otros ramos de la Física y armonizarlas todas en lo posible, tarea que no es dudoso habrá de realizarse dentro de algunos años.

Se han tomado como unidades *fundamentales*, el segundo para tiempo, el centímetro para longitud y el gramo para masa: con ellas se relacionan las unidades derivadas: con el centímetro las de área y volumen, con el segundo y el centímetro las de velocidad y aceleración, y con las tres las de fuerza y energía, y por tanto la caloría y las diversas eléctricas.

Sin entrar á definir las nuevas unidades de fuerza y trabajo, la *dina* y la *erg*, debo decir que son ya vulgares entre los electricistas prácticos las de *ampere* y *volt*: refiérase aquella á la intensidad de la corriente, ésta á la fuerza electromotriz, ó sea al potencial: la primera predomina al aprovecharse la electricidad para el alumbrado, y de aquí que no haya gran peligro para los seres vivos inmediatos, como lo habría en el caso de prevalecer la segunda.

Otro de los algoritmos propios de la Física-matemática, en particular de la Acústica y sobre todo de la Optica, es el que da las leyes de las vibraciones, en que se expresa la velocidad del elemento vibrante y su distancia al origen en función del tiempo y del retraso con respecto á un punto determinado, ya sea partiendo de un movimiento pendular ó isócrono, ya de suponer la fuerza proporcional á la separación que se hace experimentar á un punto desde su posición de equilibrio. La integración de estas ecuaciones, ó mejor dicho, de las diferenciales que con ellas inmediatamente se relacionan, ha sido objeto de profundos estudios por los principales matemáticos de este siglo. De aquí las íntimas relaciones, bajo el aspecto cuantitativo, entre la Optica y la Acústica, que quizás están llamadas en un tiempo

á fundirse en una sola investigación teórica, si bien se admite en la primera la comunicación tangencial del movimiento vibratorio de las ondas y en la segunda la comunicación en sentido del eje, aunque distinguiendo luego aquí las vibraciones trasversales, que son las importantes en la música, de las longitudinales.

Pocos triunfos ha habido más decisivos que el de la teoría cuantitativa de las ondulaciones para explicar el complejo y variado número de fenómenos luminosos, adelantándose en muchos casos la investigación matemática á la experimental, como en el descubrimiento de la doble refracción cónica, del mismo modo que ha ocurrido en la Termodinámica con la ley que relaciona la temperatura con la presión en el cambio de estado de sólido á líquido, y en la Mecánica celeste con el descubrimiento del planeta Neptuno.

El problema de la vibración de la cuerda, y por tanto el estudio de la relación entre la altura y timbre del sonido con la longitud de aquella y el punto por el que se la tañe, muestran, con ser de los más sencillos entre los movimientos vibratorios, la riqueza y variedad de estos fenómenos, aun limitándose á las vibraciones trasversales. Con efecto; allí se estudia un movimiento total y un conjunto de movimientos parciales ligados con el anterior: á aquel se le dice sonido *fundamental*, á estos sus sonidos *armónicos*, y su estudio ha traído al campo de la cantidad el problema del timbre, que antes no se sabía definir.

Algunos han llamado por esto *método armónico* al análisis que se emplea en este como en otros problemas de Acústica y Óptica, constituyendo así un modismo más. Dice de él un gran físico inglés estas palabras <sup>1</sup>: «El método armónico puede

---

<sup>1</sup> Enciclopedia británica. Artículo *Harmonic analysis*, por el profesor Clerk Maxwell. Tomo XI, 1880, página 482.

definirse del modo más general, como un camino por el cual la solución de un problema puede obtenerse como la suma ó resultante de un número de términos, cada uno de los cuales es una solución en un caso particular del problema». Con efecto, así ocurre al estudiar la vibración de las cuerdas y en otras cuestiones.

Otras relaciones cuantitativas de menor importancia existen en la Física, pero las omito por no molestar durante más tiempo vuestra atención. Cada autor que profundiza en las diversas ramas, parece que lleva á ellas, con su pensamiento y estilo propios, algo de común; sirva de ejemplo Lamé al desarrollar la Elasticidad y la Termostática, empleando los paralelepípedos y tetraedros elementales, y los elipsoides con cierta representación análoga, en cosas cuyo concepto físico parece muy diverso. Débese esto en parte también á la consideración fundamental para dicho autor de que la acción elástica, como la conductibilidad del calor, no es la misma entre un punto determinado y todos los equidistantes que le rodean, sino en los cuerpos homogéneos ó isótropos; que varía dicha acción con la dirección, aunque no con el sentido, en los cuerpos cristalinos simétricos, y que finalmente los cristalinos en general, ó heterótropos, son aquellos en que cambia la conductibilidad del calor ó la acción elástica en todas direcciones.

Repetidas veces he dicho que el análisis matemático, sobre todo el cálculo integral, está harto atrasado para los vuelos y aspiraciones del estudio cuantitativo de la Naturaleza. Por esto las modernas teorías del Álgebra y de la Geometría contribuirán á este objeto en lo que tengan de relaciones nuevas, mas no en lo que se refiera simplemente á cambiar el arreglo y disposición de las teorías matemáticas antiguas. Los modismos fisico-matemáticos no variarán con esto último más que en su expresión, y aunque ella basta á veces para constituir

un progreso apreciable, no es trascendental en la mayoría de los casos. Por esto he procurado referirme lo menos posible á dichas teorías modernas, así como también por hallarse escritas las obras más importantes conforme á los procedimientos algébricos informados por Lagrange y Lacroix.

Por último, debo insistir una vez más en que los algoritmos citados no tienen su verdadero valor en la forma matemática, sino en la compenetración de esta con los principios físicos á quienes dan vida y figura á un mismo tiempo. Son como los gérmenes de plantas diversas, cuyo estudio se hace con solo conocer uno de sus órganos esenciales: pueden también compararse con las locuciones técnicas de las ciencias y de las artes, que resumen y sintetizan un examen completo y acabado de ciertos conceptos perfectamente definidos.

## V.

He llegado, Sres. Académicos, al fin de mi discurso, enojoso y difuso, no sólo, y en primer término, por ser obra mía, sino también por la naturaleza misma del tema, al que he procurado concretarme por completo, huyendo de analogías y comparaciones entre los procesos naturales, lo cual, por lo menos, hubiera podido darle alguna amenidad, si poseyera dotes de imaginación y de estilo. Pero antes de concluir, permitidme unas pocas reflexiones sobre puntos que de él se derivan, las cuales completarán mi pensamiento en materias de gran interés para la organización científica, y resumirán una parte de lo que llevo leído.

La Matemática es la ciencia de la cantidad en general; la Física lo es de las cualidades de la materia; la Física-matemática se limita á la cantidad de estas cualidades. Comprende

ésta varias ciencias, caracterizadas por tener algoritmos propios, y los principales son el potencial, la energía y las vibraciones, refiéranse á la Elasticidad ó á la Capilaridad, á la Termología ó á la Electrología, á la Acústica ó á la Optica.

A nuestra limitada inteligencia aparece como muy complejo y rico en detalles cualquier problema natural, y al estudiarle, bajo uno ú otro aspecto, y al presentarle con tal ó cual carácter, atendemos á la nota predominante y distintiva en aquel caso, prescindiendo por entonces de todas las demás, pero sin olvidarlas nunca en los trabajos de síntesis; siendo buena prueba de ello, por ejemplo, el problema de los sonidos armónicos de uno fundamental, cuestión á que antes he aludido. Por esto se deben los grandes descubrimientos á los hombres que para cada investigación han interrogado á la Naturaleza y al pensamiento por diversos caminos, ya el filosófico y el matemático, como los sabios de la antigua Grecia, como Descartes y Leibnitz, ya este último y el de la observación, como Newton, Huyghens, Laplace, Fresnel, Mayer, Thomson y Helmholtz.

Y aun para el conocimiento acabado de una cuestión es preciso inducirla de los hechos y deducirla de los principios; poderla exponer por el razonamiento puro de un modo directo y de un modo recíproco; subir y bajar, en fin, con igual facilidad la escala que nos lleva de los cimientos á la cima del saber.

No hay jerarquía en la investigación de la verdad; pero caso de haberla no pertenecería la superior á los experimentallistas. Estos arrancan la piedra y la labran, preparan y utilizan la argamasa, descujan y cortan las maderas; pero la traza del edificio la idean el filósofo y el matemático: sin los primeros no hay palacio posible en nuestros días, pero aislados y solos labrarian uno ruinoso generalmente antes de cubrir aguas, y siempre deforme por carecer de plan y concierto.

Nosotros no podemos trabajar sin su concurso: ellos tienen á veces la vana pretensión de no necesitarnos para nada. Los hechos y las leyes inductivas son su dominio: los principios generales y las leyes deductivas constituyen el nuestro: su procedimiento lógico es el análisis; el nuestro es la síntesis. De modo que la Física-matemática ha menester por un lado del auxilio del Algebra y de la Geometría, á las cuales imita en el rigor del procedimiento y del método, y por otro de las ciencias físico-naturales, á las que infunde un soplo de razón, persiguiendo como ellas el conocimiento del mundo sensible.

Los materialistas y los positivistas modernos, que pretenden llevar á la hora presente la voz de la ciencia en Europa, parece que incurren en el mismo defecto corregido por el gran Bacon al enaltecerlos. Antes de que se aceptara la doctrina del sabio inglés, expuesta ya, aunque sin resonancia, por nuestro Vives, desdeñaban los filósofos interrogar á la Naturaleza y constituían un mundo imaginario de la materia, cuyas leyes no concordaban con el real asequible á los sentidos: hoy los experimentalistas exagerados niegan toda fuente de conocimiento que no sea la que ellos frecuentan, y caso de triunfar sus doctrinas nos llevarían á un laberinto oscuro, lleno de mil perfecciones sensibles al tacto, pero sobre cuyo conjunto sería imposible formarse idea, y en el que nos perderíamos todos por falta de luz y de guía.

Más aún: ellos, que niegan la Metafísica, concluyen á las veces por ser en sus razonamientos y atrevidas inducciones tan intrincadamente metafísicos como los más exagerados escolásticos, cosa fácil de probar con sus textos mismos.

Al despreciar á los idealistas, nos envuelven á todos en el mismo anatema, ó bien, queriéndonos favorecer á su modo, dicen que las ciencias matemáticas son experimentales.

Deber es de los que las amamos, sobre todo las compuestas

y aplicadas, volver por los fueros de la deducción y de la razón pura en general. Nuestras ciencias son el lazo de unión entre las metafísicas y las naturales. Ciencia filosófica la Matemática, no vive de la observación, sino que aplica el concepto de cantidad á los entes de razón en un caso, á las cosas materiales en otro, formando en este último las diversas ramas de la Física-matemática.

Una es la ciencia, como uno es el sujeto pensante, y una también por su parte la Naturaleza; pero al clasificar el saber humano podemos afirmar que la Matemática desciende del espíritu y se encuentra en el camino con la Física, que se eleva desde la materia; abrazándose entonces en tan estrecho consorcio, que forman el verdadero é indisoluble conocimiento del mundo exterior.

Por eso la Física-matemática tiene la pretensión de constituir el pináculo en las investigaciones de la materia y forma la parte segura y más precisa de la Filosofía de la Naturaleza. Cuando sus adeptos no alcanzan á descubrir un principio, confiesan humildemente la limitación de la humana inteligencia; no tienen, como los materialistas, la soberbia de negar lo trascendental; porque si éstos no lo ven en la experimentación, aquellos lo presienten al través de sus investigaciones, y por la propia espiritualidad que en ellas resplandece.

Con efecto; en la síntesis científica, cada vez más elevada y grandiosa, vamos concordando la ciencia con el arte, sin despreciar la imaginación, lumbrera del genio, y relegando de día en día las causas determinantes á un límite donde todas se funden en una superior, infinita y libre, cuyo nombre pronunciamos con veneración y respeto, Dios.

Vosotros, Sres. Académicos, no incurris en esto que estimo como un grave defecto, aun aquellos que os dedicáis exclusivamente á cuestiones experimentales, y mi indicación va ende-



rezada contra los que fuera de aquí lo subordinan todo, absolutamente todo, al conocimiento sensible, el cual no es suficiente para saciar el anhelo del alma humana, que busca lo ideal por encima de lo contingente, y suspira por elevarse sobre las miserias de la vida para entrever lo infinito al través de las nieblas que ofuscan y perturban nuestro mezquino entendimiento.—HE DICHO.

DISCURSO

DEL

EXCMO. SR. D. JOSÉ ECHEGARAY



## Señores:

Cumplo deber ineludible al solicitar en el día de hoy vuestra atención siempre benévola; deber penoso porque despierta el recuerdo de irreparable pérdida, la de uno de nuestros más simpáticos y de nuestros más ilustrados compañeros: el Señor Marqués del Socorro, cuyo elogio justísimo habéis oído en el discurso, que acaba de leer el nuevo académico y al que todos sinceramente nos asociamos; y al mismo tiempo deber grato en extremo para los individuos de esta Corporación, y en especial para mí, porque lo es el dar la bienvenida al Sr. Vicuña, cuyas aficiones científicas, importantes trabajos y grandes adelantamientos en el campo del saber, le han hecho merecedor del puesto, que digna y honrosamente viene á ocupar.

Es ley ineludible, en la renovación constante de la vida y en la transformación perenne de las cosas, ésta por la cual en cada punto y en cada instante, se lleva el tiempo algo que fué y trae algo que viene; liquida con lo pasado y prepara el porvenir; arroja la molécula gastada del torrente, llamando á sí por fuerza creadora la nueva molécula; y pone en labios huma-

nos á la vez el triste adiós de la despedida y el gozoso saludo de la llegada.

¿Quién sabe? Quizá en el fondo absoluto de las cosas, despedida y llegada todo es uno.

Dando el Sr. Vicuña prueba patente de sus extensos conocimientos en ciencias físicas y matemáticas, presenta en la primera parte de su erudito y concienzudo trabajo un cuadro completo, mejor dijera una minuciosa historia de descubrimientos, invenciones y leyes; y hace ver con elevado criterio, cómo la ciencia experimental y la ciencia teórica, dado que estos nombres que yo empleo sean propios, se unen y completan para formar la verdadera ciencia del mundo inorgánico: *la Física matemática*. En la segunda parte de su interesante memoria, el nuevo académico establece á modo de resumen algunos de los principios, que hoy dominan en la luz, en el calor, en la electricidad, en el magnetismo, en la elasticidad y en los fenómenos capilares, y que son como factores comunes de todas estas teorías, focos en que la variedad se condensa, y felices anuncios de una gran síntesis, que ya poderosamente se elabora, y que tal vez sea glorioso remate de este siglo de los prodigios, que se llama el siglo XIX.

Seguir al Sr. Vicuña en todos los desarrollos de su notabilísimo trabajo, ni es posible ni sería oportuno; y sólo por forma de cortesía debo hacer algunas consideraciones generales sobre varios puntos escogidos al azar, entre los varios que nuestro nuevo compañero señala con extensa erudición y esclarece con recto juicio en la memoria que acabáis de oír.

Tiene razón el nuevo Académico: la ciencia moderna apóyase, como sobre cimiento firmísimo, sobre el método experimental, sin el que todo resulta suspendido en el aire y á merced de sus caprichosos cambios: hoy girones de niebla lo que ayer parecía colosal monumento. Pero tanta razón como tiene

al afirmar este carácter de la ciencia positiva, tiene al proclamar, que sólo las matemáticas elaboran los productos de la experimentación, si la palabra vale; y que sin ellas, sin sus grandes leyes, sin su potencia sintética, la ciencia no existiría.

Todas las ciencias del mundo material, desde la Astronomía á la Química, se han organizado y han conseguido llegar al punto en que hoy las vemos, mediante los mismos procedimientos.

*Primero*, la acumulación de hechos y de fenómenos: aquello que se observa y que se experimenta: la realidad viva y palpitante: cuanto en la naturaleza puede tocarse y verse: lo que pudiéramos llamar la estadística del cosmos: *lo positivo*, en suma.

Por ahí debe empezar el que se empeñe en ir al fondo de los grandes problemas, que en el cielo con inmensos globos de fuego, y en nuestra baja tierra con microscópicos torbellinos de átomos, están escritos en misteriosas cifras.

Pero el que de ahí no pase, ni construirá la ciencia, ni pasará tampoco de mísero erudito de hechos aislados: y cuenta que los hechos por sí solos son polvo disperso, y que sólo la unidad de nuestra razón puede trabarlos en argamasa, y amontonarlos en muros, y rematarlos en suprema unidad arquitectónica.

¿De qué manera?

Por estas dos grandes categorías de nuestro ser: la cantidad y el orden.

Yo no discutiré aquí, porque esto me llevaría muy lejos, si los conceptos matemáticos, como algunas escuelas suponen, proceden de la experiencia: sea cual fuere su origen, por formados los doy, y hago constar, que las demostraciones matemáticas, lejos de ser demostraciones experimentales, al mundo exterior se imponen como necesarias y superiores á toda expe-

riencia. A nadie le ocurre cuando en la esfera de los hechos hay un conflicto; á nadie le ocurriría si tal resultado astronómico ó físico apareciese en contradicción con la realidad, atribuir la discordancia á que el cuadrado de la hipotenusa pudiera no ser en algún caso enteramente igual á la suma de los cuadrados de los dos catetos, ó á que los lados de un triángulo no fuesen de todo punto proporcionales á los senos de los ángulos opuestos, ó á que la integral de  $2x dx$  discrepase de  $x^2 + \text{const.}^{\text{te}}$  en algún caso singularísimo. La responsabilidad caería por entero sobre la hipótesis de la teoría cósmica ensayada, sobre su aplicación, sobre imperfecciones de los aparatos, sobre inadvertencias del operador; nunca sobre la exactitud absoluta, al menos dada la organización de nuestro cerebro, de las leyes matemáticas, que han sido siempre y serán suprema fe de la razón. Admitir, que los principios matemáticos estén á merced de la experiencia, como cualquier ley empírica, es destruir de un golpe todas las categorías del pensamiento y hasta imposibilitarlo para enlazar los productos de la experiencia, por primitivos y sencillos que sean, y mucho más para inducir de ellos ni el más elemental resultado.

Pues bien, y aquí viene *el segundo* punto, después de acumular hechos, á fin de organizarlos y de construir la ciencia, convirtiendo lo empírico en racional, así como el estómago pone sus jugos gástricos en la masa alimenticia para convertirla en sangre al término de la evolución, el cerebro pone, si la imagen vale, sus dos categorías de cantidad y orden, sobre la masa informe de experiencias para convertirlas en grandes leyes ideales, sangre de vida y jugo supremo de toda potencia espiritual.

¿Y cómo el *hecho* y la *cantidad*; casi pudiéramos decir, según dice el insigne autor de la *Crítica de la Razón pura*, cómo la materia y el molde se unen en la ciencia empírica?

Midiendo los hechos: convirtiendo el substratum físico en número: estableciendo condiciones para que dos fenómenos, dos magnitudes, dos realidades simples ó compuestas, poco importa lo que fueren, *sean iguales*. Con esto es suficiente.

Porque conociendo el caso de igualdad, el de multiplicidad de cualquier orden, por la repetición sucesiva de cosas iguales se obtiene desde luego: lo cual es en extremo sencillo, y hasta parece que ocuparme de estas trivialidades es ofender la superior ilustración de tan respetable concurso. Pero si la medida de líneas, superficies y volúmenes, así como la de pesos y tiempos es ya cosa vulgarísima, y anda revuelta por esos mundos con las necesidades más primitivas de toda sociedad; otras magnitudes hay en la moderna Física, respecto á las que, la elección de unidad, la medida y la conversión por ende de las realidades del fenómeno en números, es problema difícil y trascendental, y da origen á profundas discusiones.

Ya por ejemplo, y es ejemplo notabilísimo, el Sr. Vicuña, al terminar la primera parte de su trabajo, consigna los esfuerzos realizados por la Asociación Británica para determinar un sistema de unidades eléctricas. Esfuerzos necesarios y dignos de todo elogio; porque en efecto, *la medida* de objetos, magnitudes y fenómenos no solo es indispensable, cuando la ciencia descende de sus aristocráticas alturas al terreno positivo de las aplicaciones industriales, sino que lo es para que la ciencia abstracta suba el primer escalón de los suyos; para que el elemento experimental y las categorías de la razón comiencen á compenetrarse; para que el hecho bruto se convierta en concepto ideal, como es el número; para que, en fin, puedan establecerse como primer ensayo científico las leyes empíricas.

Y así, con medir tiempos, líneas y áreas, se establecen empíricamente, ó dicho sea por la observación no más, las tres grandes leyes de Keplero: los planetas describen elipses al-

rededor del sol como foco; las áreas son proporcionales á los tiempos; los cuadrados de aquellos, que á sus revoluciones corresponden, son como los cubos de los grandes ejes.

Con medir volúmenes y fuerzas ó presiones se induce del simple examen de los hechos la ley de Mariotte: á igual temperatura los volúmenes de una masa de gas están en razón inversa de las presiones.

Con saber medir distancias, fuerzas y cantidades de electricidad se prueba experimentalmente la ley de Coulomb: las atracciones, en la electro-estática, son proporcionales á las masas eléctricas y en razón inversa de los cuadrados de las distancias.

Con saber medir potenciales, distancias y corrientes, la pura experiencia da la célebre ley de Ohm: entre dos puntos, la intensidad de la corriente se obtiene dividiendo la caída de la potencial por la resistencia del conductor.

Con que el sentido de la vista, ó algún aparato que lo supla, sepa apreciar la igualdad de dos intensidades luminosas, que es tanto como medir la luz como magnitud, se establece por el más sencillo de los experimentos, que la intensidad de este fenómeno varía en razón inversa del cuadrado de las distancias.

En fin, señores, y para no cansar con más ejemplos, con la caloría y con el grado pueden deducirse, tomándolas de la realidad, las leyes fundamentales de la Termodinámica, cuya historia os refería ha poco nuestro digno compañero.

De suerte que la observación de los hechos, y su comparación en forma de medida hasta reducirlos á números, basta para constituir un primer grado de la ciencia y para determinar ciertas leyes por la aplicación sencilla de las matemáticas á las inmediatas relaciones de los hechos. Y para determinadas escuelas esta es la ciencia positiva, esta es la verdadera cien-



cia, y de aquí no ha de pasarse; y todo lo que de aquí se pase es correr peligrosas aventuras, meterse por extraviados caminos, y quizás tras grandes ilusiones y hermosas esperanzas caer en tristes y amarguísimos desengaños. Porque hasta aquí las hipótesis son casi nulas y las teorías desaparecen ante los hechos.

El hecho de medir una magnitud física, un fenómeno cualquiera, por complicado é incomprendible que llegue á ser, ó haya sido, no prejuzga, en efecto, ni su esencia ni el misterio que allá en su interior se agite, ni el concepto metafísico que de él puedan tener los aficionados á trascendencias y filosofías.

Cuando yo afirmo las leyes de Keplero no me ocupo de las causas del movimiento, ni considero, que aquellas leyes pueden ser casos particulares de leyes más altas, ni veo pasar ante mí la sombra inmortal de Newton, ni oigo crujir los espacios infinitos por los inmensos esfuerzos de la atracción universal: mido distancias y mido tiempos y establezco proporciones, no más.

Cuando afirmo la ley de Mariotte bajo el punto de vista empírico, no me meto en averiguaciones sobre lo que un gas pueda ser: lo tomo como lo encuentro, no penetro en su interior: mido tales volúmenes y mido tales fuerzas expansivas, y hago constar una ley numérica.

Cuando de la ley de Coulomb trato, no sé, ni aun me atrevo á sospechar cuál esencia misteriosa constituye la electricidad estática: sé cuándo dos cargas son iguales, tomo una por unidad, y por superposición obtengo cargas dobles, y triples, y en cualquier relación: lo desconocido me sirve de unidad para lo desconocido, mido la electricidad por ella misma, la convierto en número y á una fórmula la entrego.

Cuando estudio la ley de Ohm, tampoco sé, qué es en el fondo ese extraño, y más que extraño misterioso, y más que

misterioso casi inconcebible fenómeno, que se llama corriente eléctrica. Lo acepto como aparece: fijo las condiciones que lo determinan, con toda su complejidad, sus misterios y sus asombros: lo tomo como unidad de sí mismo y hago de la corriente eléctrica un número, como hice de la electricidad estática otro, y otro de la masa gaseosa, y otro del movimiento de los astros. Y así voy convirtiendo todo el mundo físico en este concepto matemático que se llama cantidad, con su símbolo que es el número, y con sus leyes numéricas que son leyes experimentales.

Y á números reduzco los giros de los astros, las expansiones de los gases, y el fluido eléctrico, y la corriente, y la luz, y el calor, y el magnetismo, y toda realidad que aparezca en el cosmos, sea elemento, sea conjunto, sea fenómeno, sea lo que fuere. Mido lo semejante por lo semejante; lo desconocido por lo desconocido; el misterio tomando otro como él por unidad; una  $x$  por otra  $x$ ; una esencia impenetrable por otra esencia impenetrable: y así obtengo números, la experiencia me da las relaciones entre estos números, y estas relaciones son las leyes empíricas, como acabo de decir.

Esto era la Física no ha mucho, y por este grado de organización ha de pasar toda ciencia antes de subir á mayores alturas: recoger hechos, medir magnitudes físicas, establecer experimentalmente relaciones numéricas, son términos inevitables del gran proceso y trasformaciones necesarias de la gran evolución; pero la ciencia no puede detenerse en este punto de su desenvolvimiento, ni se ha detenido por fortuna, ni su grandeza de hoy consiste en haber acumulado unos cuantos centenares de miles de experiencias, ni en haber deducido de ellas algunos miles de leyes. Algo sería, siendo esto no más, pero sería bien poco, en comparación de lo que es.

Sería, en verdad, un conjunto sin enlace de cantones cien-

tíficos, si la imagen no parece sobradamente atrevida. De una parte el *calórico* con sus unidades, la caloría y el grado, sus medidas y sus principios empíricos. De otra la *electricidad estática*, formando grupo aparte con diversas unidades: unidad de carga eléctrica, unidad de potencial, unidad de capacidad. Más allá la *electricidad dinámica*, nuevo centro independiente, nuevo grupo autónomo con unidades de medida suyas propias y para las necesidades de su territorio fabricadas: unidad de corriente, de potencial y de resistencia. Formando cantón aparte el *magnetismo*, con su *unidad de polo* y sus leyes numéricas. Desdeñosa, en su perfección relativa, con las demás ramas de la Física, la teoría de la luz, más atenta á sus lucubraciones matemáticas, que á resultados industriales; sin unidad casi, ó con unidad tan imperfecta y primitiva como el *carcel francés*, ó la *caudela inglesa*, constituyendo por sí otra circunscripción confusamente mezclada á las anteriores. Y así, para no fatigar á mis oyentes, cada rama de la Física convertida en diminuta ciencia, sin relación con las restantes; la gran unidad del mundo de la materia rota en añicos; la energía universal, que circula por los espacios como por un gran organismo, partida en trozos; la columna vertebral del gran ser deshecha en vértebras.

Era necesario, pues, completar el organismo en vez de empeñarse en destruirlo. y esta gloria le cabe á nuestro siglo, según del excelente trabajo del Sr. Vicuña y de sus numerosas citas fácilmente se deduce.

¿Pero fué legítima la empresa? pudo preguntarse en su tiempo.

¿Es dado á la razón humana llegar á las profundidades de lo absoluto?

¿La única ciencia positiva, no es por ventura la ciencia de los fenómenos?

¿Es posible el conocimiento científico de las realidades, y empeñarse en buscarlas, no es caer en los abismos inversamente sublimes de la metafísica?

¿Quién ha penetrado en los últimos y misteriosos senos de la ciencia de la luz, del calor, de la electricidad, del magnetismo, de la afinidad química, de la cohesión, de la atracción planetaria, de la fuerza en general?

¿No es más seguro tomar las cosas como aparecen; medir la luz por la luz, por el calor el calor, y la electricidad por sí misma, y limitarse á establecer relaciones puramente numéricas dentro de cada grupo de fenómenos, que aspirar á una síntesis peligrosa é imposible?

Las objeciones tienen fuerza, y merecerían ser estudiadas si no se tratase de hechos ya consumados. La Física moderna no las tuvo en cuenta, y ha realizado con no haberlas atendido, la obra más prodigiosa de que pueda enorgullecerse la razón humana.

Y no es maravilla; que la naturaleza misma, el método experimental, sin el que no puede fundarse ninguna ciencia, así lo hemos reconocido varias veces, y lo hacemos constar otra más, están proclamando esa unidad latente del mundo inorgánico, que la filosofía siempre sospechó, y cuyos contornos ya en el lejano horizonte se dibujan, aunque entre caprichosas brumas, que los empañan ó los quiebran.

No: ni el calor, ni la luz, ni el magnetismo, ni el fluido eléctrico, ni la fuerza en general, ni el movimiento son potencias aisladas y autónomas; verdaderas especies, pudiéramos decir, del mundo inorgánico. El método experimental demuestra, que son trasformables unas en otras; que la fuerza y el movimiento se convierten en calor, como el calor en fuerza; que por medio de corrientes se hacen imanes, y por el movimiento de imanes se engendran corrientes; que del calor brota

la luz y de la luz el calor; que no existen, en fin, energías inorgánicas, que tomadas dos á dos, á capricho, no puedan convertirse directa ó indirectamente ésta en aquella y aquella en ésta, como si todas no fuesen más que apariencias de una sóla energía, variedades con carácter fenomenal de una sola especie, facetas de un solo cristal, manifestaciones múltiples de lo que es único y permanente y eterno.

¿Pues qué hay de ambicioso, ni de insensato, aun dentro de la más estrecha ciencia positivista en buscar el *fenómeno único, el factor común*, la unidad en suma de todos los fenómenos lumínicos, calóricos, eléctricos, magnéticos, moleculares y planetarios, y aun de los mismos fenómenos químicos?

No es esto ciertamente penetrar en lo absoluto ni osar á él, dicho sea para los que muestran temores por tales empresas; que si por esfuerzo titánico todas las trasformaciones del cosmos se redujesen á materia, fuerza y movimiento, aun así no se habría conseguido más que reducir á números la comparación de los hechos, poner en relación aquellas comarcas independientes de que antes hablaba, y obtener una unidad común para todas las varias unidades que entonces cité; pero no por esto se llegaría á la íntima esencia de las cosas, que siempre la fuerza, la materia y el movimiento serían mudas esfinges y eternos problemas. Tal empresa, quiero decir, la de buscar un factor común para todos los fenómenos, es realmente la que en gran parte ha realizado la Física moderna, y la que aun hoy trabaja por llevar á cabo de una manera definitiva y completa, porque no puede desconocerse, que mucho le falta todavía para darle cima.

El trabajo mecánico ó sea el caballo de vapor, la fuerza viva, la caloría, el carcel, la potencial, la masa magnética, el polo magnético, la masa eléctrica, la corriente, la resistencia, la afinidad química, y muchas otras unidades que ha poco eran

independientes entre sí, hoy están fuertemente enlazadas, y casi puede decirse que sólo dependen de estas tres unidades fundamentales: *tiempos, líneas y masas*, que es como decir: *espacio, tiempo y materia*.

Y he aquí aquel momento, que dejando aparte desarrollos cronológicos y atendiendo tan sólo á la lógica de las ideas, podemos llamar el *tercer momento* de la ciencia Físico-matemática.

El momento de las *grandes síntesis* y de las *grandes hipótesis*.

De todas ellas os hablaba el Sr. Vicuña hace un instante, citando con claridad y rigor las fuentes de donde han brotado los mil arroyos, que hoy reunidos en ancho cauce bajan como caudaloso río por este encantado valle del saber: el de la inextinguible sed, el de las inmortales ansias y el de las venerables sombras. Ni tengo tiempo, ni es ésta tampoco ocasión oportuna para reseñar cómo las leyes empíricas se van transformando en leyes racionales en todos los ramos de la Física; y aun á tener tiempo y á ser oportuna la ocasión, fuera innecesario, después de lo que al nuevo Académico habéis oído. Me limitaré, pues, á consignar, que bajo *tres hipótesis* distintas puede intentarse esta obra gigantesca, la de traer toda la Física, y aun la misma Química, al terreno propio de la Mecánica racional.

Porque ya no se trata únicamente de aplicar el cálculo matemático á los fenómenos de la materia: esto conseguido está, aunque por esfuerzos parciales, digámoslo así, para toda la Física; y hasta un eminente químico francés, en obra de altísimo mérito, comienza hoy á formular las leyes mecánicas de la termoquímica.

Desde el momento en que las magnitudes ó los fenómenos se miden, ó pueden medirse, son cantidades, por números se

expresan, y sus leyes empíricas por ecuaciones vienen expresadas también. Y así, la teoría de la elasticidad estática y la de las vibraciones, la acústica, la óptica geométrica, la óptica mecánica, la termodinámica, la propagación del calor en cuerpos conductores, todos los problemas del magnetismo, la electricidad estática, la electro-dinámica, la inducción, la capilaridad, hasta la misma disociación, hasta la rapidez y la marcha interna de toda combinación química, son problemas que caen de lleno en el dominio del cálculo diferencial y del cálculo integral, y que por ecuaciones diferenciales pueden siempre expresarse, cuando no por ecuaciones ordinarias.

Y no es de extrañar que así sea; pudiera ser en muchos casos, al menos en la región teórica, aun sin contar con la experiencia. Y la razón fácilmente se comprende: es una razón de pura geometría. En una pequeña extensión, la tangente y la curva, el plano tangente y la superficie, lo que pudiéramos llamar también el plano de contacto de  $n$  dimensiones y la ecuación de  $n$  variables se confunden, y en los límites de la práctica puede una sustituirse por otra; de donde resulta, que casi siempre la ley numérica de los elementos ha de suponerse que es lineal: no de otro modo el flujo de calor entre dos puntos se admite que varía en proporción á la diferencia de temperaturas, con lo cual todo el problema del equilibrio térmico se plantea desde luego en forma de ecuación diferencial.

Pero no es éste el punto de vista en que ahora me coloco, ni á esto sólo se aspira con las *hipótesis* á que hice referencia en uno de los párrafos anteriores.

Observar los hechos naturales ó artificiales; medirlos, tomando uno de ellos por unidad, y convertirlos en número; inducir de aquí las leyes numéricas de los fenómenos; aplicar el cálculo, y por sus procedimientos y sus combinaciones ensayar en cada grupo de realidades una primera síntesis; deducir, por

último, teóricamente nuevas leyes y comprobarlas en el campo de la experiencia: todo esto es empresa grandiosa en gran parte realizada.

Pero el momento de las hipótesis toma carácter más trascendental: no se trata de síntesis parciales, sino de una sola síntesis para todas las ramas de la Física, de la Química y de la Astronomía: por medio de un concepto, ó supuesto, ó postulado, ó producto de la imaginación, trátase de reducir todos los problemas del mundo inorgánico á un solo *problema de mecánica*.

Y si todo en lo inorgánico es materia y movimiento, como la misma experiencia parece demostrarlo, ¿por qué ha de ser imposible tal empresa, aunque sea de inmensa dificultad?

¿No es movimiento el del cuerpo celeste, que describe inmensas órbitas en el espacio?

¿No es movimiento vibratorio el de la luz, según prueban miles de experiencias, las más variadas, las más opuestas, las de más caprichosas combinaciones?

¿No es el sonido en los cuerpos y en el aire la vibración de las moléculas?

¿No es el calor otra vibración más íntima de la materia?

¿Y la electricidad no es, según todo linaje de probabilidades, una forma del movimiento, siquiera hasta hoy sea el grupo de fenómenos más rebelde á los asaltos de la investigación científica?

¿Y el magnetismo no es, si de algo valen las admirables experiencias de Ampère, una resultante de fenómenos eléctricos?

¿Pues qué mucho que la mecánica haga valer sus derechos, y recoja todos estos problemas, y á sus fórmulas de equilibrio y movimiento los someta?

Sucede aquí, Señores, lo que en toda federación de Estados



políticos, que cuando uno de ellos llega á adquirir cierta preponderancia y poderío, tiende por ley natural de desarrollo, á absorber en sí á todos los restantes.

A todas las ramas de la *Filosofía natural*, como dicen los escritores ingleses, se adelantó la Astronomía, recorriendo cuantas fases hemos señalado para el desenvolvimiento de las ciencias físicas. Periodo que pudiéramos llamar experimental, apreciaciones numéricas, leyes empíricas, y al fin una prodigiosa hipótesis: la de la gravitación universal.

Los astros se mueven por atracciones proporcionales á las masas y en razón inversa del cuadrado de las distancias. O si la forma afirmativa no place, dígase que se mueven, como si se atrajesen según la ley expresada.

Sea lo uno ó sea lo otro, siempre resultará ser una *maravillosa hipótesis*, que la realidad humildemente acata hasta cuando anuncia planetas desconocidos.

Merced á esta hipótesis de la atracción newtoniana todos los problemas astronómicos son problemas de mecánica: de dinámica diríamos mejor. Por eso afirmamos, que la Astronomía habíase adelantado á todos los demás ramos de la Física. Pero los astrónomos son gente hasta cierto punto pacífica y poco ambiciosa. Tienen regiones tan inmensas que conquistar allá por las profundidades sin fin de los cielos, que bien pueden mostrarse desdeñosos con todo lo que á ras de tierra se agita. El cristal de un antejo con un sabio en una de sus caras y el infinito en la otra forma un mundo aparte de sublime abstracción entre todos los torbellinos de la materia. La Astronomía y las diversas ramas de la Física siguieron, pues, sus derroteros propios, con independenciam absoluta unas de otras.

Pero transformó Fresnel la teoría completa de la Óptica con su inmortal creación: por el éter y por sus ondulaciones explicáronse todos los fenómenos conocidos de la luz con exac-

titud maravillosa: las interferencias, la difracción, la reflexión y la refracción, una y otra geométrica y mecánica, la polarización ordinaria, la polarización cromática, la polarización rotatoria, la doble refracción, miles y miles de hechos en sus apariencias, en sus leyes y en sus determinaciones numéricas, todos ellos resultaron como otras tantas consecuencias lógicas y precisas de las fórmulas matemáticas del movimiento vibratorio. Jamás, ni aun en la misma Astronomía, había logrado la razón humana más prodigiosa victoria: si por las leyes de la mecánica había adivinado Le-verrier el planeta Neptuno, por la teoría de los planos tangentes múltiples adivinó Hamilton la refracción cónica: si todo se somete al cálculo en los movimientos planetarios, todo se somete al cálculo en las vibraciones etéreas: si la experiencia y las matemáticas van de acuerdo por los espacios celestes, de perfecto acuerdo van en todo espacio por donde rayos de luz ú ondas luminosas avanzan ó se cruzan.

Además, la hipótesis de Fresnel, las teorías de Cauchy y otras análogas, encontraban como un reflejo de sus propias bases y de sus propios artificios en las teorías ya formadas y en pleno desarrollo de la Acústica. En una y en otra ciencia un flúido como materia de movimiento: en esta el aire, en aquella el éter; vibraciones en ambas: longitudinales en el primero, transversales en el segundo; fórmulas de la misma índole en uno y otro orden de fenómenos para expresar las condiciones de propagación en un instante cualquiera, á saber: ecuaciones diferenciales de segundo orden; las mismas dificultades para los problemas complementarios ó de límites, y procedimientos análogos para vencerlas; progresión de las ondas, superposición, interferencias, reflexión y refracción, todo igual ó parecido. La Óptica y la Acústica debían ser naturales aliadas, y lo fueron.

Alentada, pues, aquella con esta confirmación de sus pró-

pios métodos, era natural que extendiese su influencia á las demás partes ó cantones de la Física, como hace un momento anunciábamos, que forzosamente había de suceder.

Su hipótesis del *éter* forma hoy, en efecto, parte integrante, así como de la luz, de la electricidad, del calor y del magnetismo. Y en cuanto á sus métodos, ya se aplican plenamente y con gran ventaja, como á las vibraciones etéreas, á las vibraciones del aire en la Acústica, á las de las partículas de los cuerpos en la elasticidad, á las vibraciones moleculares y atómicas en el calor, y se trabaja con empeño por someter á estas mismas teorías los fenómenos singularísimos de la electricidad.

De aquí ha resultado *la primera de las tres hipótesis* de que antes hablaba, hipótesis mediante la cual se pretende reducir todo problema inorgánico del cosmos, sea problema astronómico, físico ó químico, á un problema de mecánica. En ella solo se admiten tres entidades irreducibles: *la materia, la fuerza y el movimiento*. *La materia*, bajo dos estados, como éter ó como materia ponderable: *la fuerza*, con dos modalidades, como atractiva entre dos átomos cualesquiera de materia ponderable ó entre uno de esta y otro de éter, como repulsiva entre dos átomos etéreos: *el movimiento*, como representando una cantidad constante de energía, ya en forma explícita ó sea de energía actual ó fuerza viva, ya como energía latente y potencial.

Admitiendo esta hipótesis y determinando experimentalmente la ley de las fuerzas en función de las distancias, todo lo demás es puro problema de mecánica, que sin vacilaciones, sin dudas, sin tanteos, puede plantearse.

Porque bueno es decir de paso, que no hay ciencia tan adelantada como la Mecánica racional. En dos fórmulas se condensa su doctrina: para cualquier problema de Estática, *el principio de las velocidades virtuales*; para toda cuestión de

Dinámica, *el teorema de D'Alembert*: no hay ni cuestión ni problema en esta ciencia, que no pueda escribirse en el lenguaje del Algebra, por decirlo así instantáneamente.

Cierto es, que dichas ecuaciones son muchas veces ecuaciones diferenciales, y que la dificultad que ofrecen para su integración con frecuencia es enorme; pero responsabilidad es esta, que debe ir á cargo del cálculo integral: la misión de la Mecánica ha terminado al escribir las leyes del fenómeno en una ecuación.

Ya también sobre esto os indicaba algo el Sr. Vicuña en su discurso, y en la segunda parte del mismo hacía observaciones atinadísimas, que yo no he de repetir; pero puede afirmarse, que varias de las leyes y principios que citaba, son importantes, entre otras cosas, por la facilidad que ofrecen para obtener directamente ciertas integrales del movimiento. Bien comprendéis que en este instante no puedo extenderme sobre tan arduas cuestiones, y no os extrañará por tanto, que me limite en esta ligera reseña á consignar tan solo, que todos los problemas de Física matemática, como todos los problemas astronómicos, pueden escribirse sin grandes dificultades en forma de ecuaciones; pero que al pasar de la ley de los incrementos á la de las cantidades finitas, de las relaciones entre las diferencias á las relaciones entre las coordenadas, en una palabra *al integrar* tales ecuaciones, las matemáticas puras muéstranse cuando menos premiosas, impotentes en muchos casos, y con lamentable deficiencia en casi todos. Donde los movimientos son finitos la integración es difícil, imposible á veces: y ni Lagrange, ni Hamilton, ni Jacobi, ni Poisson, ni Bertrand, ni Bour han podido arrancar á la esfinge su secreto: esto sucede en muchos problemas, que pudiéramos llamar del orden astronómico, como en el célebre de los tres cuerpos. Donde por el contrario se trata de movimientos vibratorios de amplitud pequeñísima, las

ecuaciones suelen ser de coeficientes constantes, fácilmente se obtienen integrales particulares en forma de exponenciales, senos ó cosenos, y por la suma de estas integrales otras con mayor grado de generalidad; pero en cambio aquí la dificultad toma otra forma, al pretender que la integral satisfaga á las *condiciones de los límites*, ya se refieran estas condiciones al espacio ó sea á las superficies que encierran el sistema de puntos que consideremos, ya á las posiciones y velocidades de las masas en el instante inicial; sin que en ciertos casos sea suficiente para resolver el problema ni aun la admirable fórmula de Fourier.

Sólo á este atraso de las matemáticas puras puede atribuirse el de algunas ramas de la Física, que todavía están en su primer período de semi-empirismo, y que, por decirlo así, se resisten á entrar de una vez en la gran reforma, que sobre toda la ciencia del mundo inorgánico avanza con empuje incontrastable.

A las dificultades puramente analíticas únense otras, que nacen de la índole de cada problema particular; contra aquellas y estas lúchase con ardor; poco á poco se avanza; y ya de cara y de lleno por grandes teorías, ya por movimientos envolventes, si la imagen no es demasiado violenta, se van dominando obstáculos y ganando posiciones.

En la teoría de la *elasticidad* ambos métodos, el que arranca de ciertos datos experimentales y el general, análogo al que se emplea en la teoría de la luz, conducen á resultados casi idénticos.

En el primero, que es el seguido por el insigne Lamé y por otros matemáticos, se parte de la existencia de las fuerzas elásticas: se aceptan como resultado experimental: se suponen proporcionales á la primera potencia de las deformaciones, y las ecuaciones de equilibrio elástico ó del movimiento vibrato-

rio resultan inmediatamente y sin necesidad de grandes esfuerzos. En este método la teoría de la elasticidad se considera en cierto modo como ciencia aparte, como grupo autónomo, como problema distinto de todos los demás problemas de la Física: toma algo de la experiencia, y á sus resultados aplica el método matemático y hasta las fórmulas de la mecánica.

En el segundo procedimiento, que es el del inmortal matemático francés Cauchy, el problema de la elasticidad se plantea como otro problema cualquiera de mecánica: un sistema de puntos materiales distribuidos de cierto modo en el espacio, atracciones y repulsiones según cierta ley, y no más: con esto basta. Las que en el método anterior eran fuerzas elásticas ya formadas por decirlo así, y constituyendo entidades experimentales, en este segundo método aparecen resueltas en sus elementos, que en rigor no son otra cosa, que acciones mutuas de los puntos materiales del sistema tomados dos á dos: puede decirse que este segundo procedimiento penetrá más en las entrañas del problema, y de toda suerte es de una sencillez, de una elegancia y de una fecundidad incomparables. Aceptado tal método, para este problema como para todos los demás problemas de la Física matemática, y á imitación de los problemas astronómicos, sólo queda un elemento experimental: *ley de atracción ó de repulsión* de cada dos masas elementales.

Y he aquí cómo la *hipótesis* antes expuesta unifica tres grandes circunscripciones de la Física: la óptica, la acústica y la elasticidad.

Al aplicar este mismo procedimiento, que en rigor á Cauchy pertenece, en su mayor parte al menos, á la Termodinámica, no hemos de ocultar, que se encuentran grandes é imprevistas dificultades; y es, que los sistemas cuyas vibraciones han de estudiarse son de inmensa complicación, cuando se comparan al flúido etéreo en que la vibración luminosa se

propaga. Ya no se trata de *centros matemáticos* distribuidos según cierta ley geométrica, sino de moléculas y átomos que son por sí verdaderos sistemas astronómicos en miniatura, sistemas que en muchos casos no pueden considerarse como puntos aislados, en los que además la forma ejerce notable influencia, y á los cuales por tanto no es lícito aplicar, sin grave error, las fórmulas vibratorias de la luz descubiertas por Cauchy.

Y tanto es así, que las leyes elementales del movimiento vibratorio se estrellan con absoluta impotencia ante el resultado experimental más sencillo, á saber: *el de la dilatación de los cuerpos por el calórico*. Ya lo hace constar el insigne matemático Mr. Saint-Venant en una importantísima nota inserta en el Comptes-Rendus de la Academia de Ciencias del año 1876. La hipótesis ordinaria respecto á las fuerzas elásticas entre dos puntos, á saber: la de la proporcionalidad de aquella á las deformaciones, y la integral de los movimientos elementales en forma de *seno ó coseno*, dan resultados, al aplicarlas á las vibraciones caloríficas, verdaderamente absurdos: aumento de temperatura sin aumento de volumen. Es preciso partir de una nueva forma de segundo grado para la fuerza elástica, lo cual por otra parte es natural y lógico, é integrar la nueva ecuación, que resulta mucho más complicada que en el primer caso, para poner de acuerdo la teoría y la experiencia, como al fin se consigue en el ejemplo particular que Mr. Saint-Venant estudia, y como al fin se conseguirá en casos más generales, cuando puedan vencerse dificultades meramente analíticas de integración.

Pero hay más contradicciones que resolver y más dificultades que domar: he de confesarlo lealmente, que así como se glorifica la victoria, no ha de negarse el vencimiento. La propagación del calórico y la de la luz, al menos en la apariencia, son de todo punto distintas, y si uno y otro fenómeno se

reducen, como las nuevas teorías pretenden, á un simple movimiento vibratorio de puntos materiales, esta discordancia es, más que chocante, verdaderamente incomprensible. Bueno será detenerse aquí algunos momentos y fijar con claridad las ideas.

Una perturbación cualquiera, en determinado punto de la superficie tranquila de un lago, se propaga en forma de ola al rededor del centro en que hubo de engendrarse: avanza y se trasmite el movimiento vibratorio, pero con perfectos límites en ambas direcciones: dos líneas paralelas lo comprenden, y por decirlo así, entre ellas va encerrado; una línea de frente, mirando hacia adelante en el sentido de la progresión; otra línea detrás, mirando hacia el espacio ya recorrido: en suma, y esto es importantísimo, la onda líquida, á medida que avanza, deja en reposo todo el espacio que va quedando tras ella.

Pues de igual suerte la onda sonora está limitada en el espacio por *dos silencios*, quiero decir, por la región á donde no ha llegado, y por la región que ha recorrido: sólo ella vibra entre dos superficies que la comprenden: el resto de la masa en que se propaga permanece inmóvil.

Y de la misma manera, en fin, la onda luminosa, que nació de cierta perturbación limitada, y no reproducida, del éter, se propaga como la ola líquida, como la onda sonora, como el estremecimiento elástico, con dos superficies de limitación, una anterior y otra posterior: más allá de la primera, la sombra; más acá de la segunda, la sombra también; y así entre dos sombras se mueve, la que invade y la que abandona, como el sonido marchó entre *dos silencios*, y entre dos regiones tranquilas del lago la ola líquida.

Este bellissimo fenómeno, que se denomina *limitación de las ondas vibrantes*, es resultado experimental, pero es resultado teórico al mismo tiempo: en la realidad lo vemos, pero en



las fórmulas de Cauchy está, con integrales sextuplas y con el algoritmo propio de la teoría de los residuos, escrito y demostrado; y en verdad que aunque la demostración parece complicada en extremo, es en el fondo de la más admirable sencillez.

Tal es la forma de propagación de las ondas vibrantes; y, sin embargo, la vibración calorífica, al menos aparentemente, se propaga por manera de todo en todo distinta de aquella que dejo señalada. En un punto de un cuerpo hay determinado desarrollo de calor: pues esta energía se propaga gradualmente; va comunicándose á los espacios próximos como catarata que se precipita; se extiende á nuevas regiones, pero no abandona las primeras; invade, pero no se retira; y así tiende á repartirse por igual en todo el espacio, estableciendo en él equilibrio perfecto de temperaturas. La nivelación, la igualdad absoluta, es su ley.

El sistema de propagación del calórico es por lo tanto absolutamente contrario al sistema de propagación de la luz, del sonido y de toda clase de vibraciones.

En todo movimiento vibratorio la onda circula, conservando en cierta manera su individualidad: no llegó, llegó al fin, pasó: antes reposo, y reposo después: en el ambiente, la energía va limitada é íntegra en una capa que se dilata, pero que siempre está comprendida entre dos superficies esféricas.

En el calor y en su movimiento no existe, por regla general, la onda vibrante: es un alto nivel de temperatura, un nivel más bajo, y una energía que cae de aquél á éste, como el agua cae por las pendientes del río. Así lo establece la ley de Fourier para la propagación del calórico, y en ella se fundan la obra clásica del eminente matemático y todas las que se han escrito después sobre la propagación del calor en cuerpos conductores.

La contradicción es patente, y á primera vista parece impo-

sible que en una sola teoría, la del movimiento vibratorio, estén comprendidos fenómenos, que con apariencias tan opuestas se desarrollan.

Y, sin embargo, no es así: á mi entender la contradicción puede explicarse; y, si hoy me fuera posible, de buena gana lo intentaría: la ocasión no es oportuna, mas con todo ello séanme permitidas algunas observaciones.

Los dos problemas, el de la propagación de un movimiento vibratorio en el éter, y el del calórico en un cuerpo conductor, son esencialmente distintos en el fondo, aunque ambos sean problemas de dinámica. *En aquél*, el medio es homogéneo y continuo: átomos de éter distribuidos según cierta ley geométrica y sujetos á determinadas acciones mutuas lo constituyen, y las fórmulas clásicas de Cauchy ú otras análogas de autores posteriores tienen perfecta aplicación para el estudio de sus movimientos. *En éste*, el medio ni es homogéneo ni para las aplicaciones prácticas puede suponerse que es continuo: todo cuerpo, en la hipótesis que estudiamos, es una atmósfera de éter, y flotan en ella, sostenidas por fuerzas moleculares, las moléculas mismas, que á su vez son pequeños cuerpos, ó, dicho en términos más exactos, sistemas atómicos de gran complicación. La onda vibrante al circular en la atmósfera etérea, y en ella circula según las leyes de Cauchy, choca y se rompe y se divide contra las moléculas, y en las moléculas que encuentra va dejando *una parte de su energía ó sea de su fuerza viva*: esta es precisamente el calor; estos residuos de que va desprendiéndose son los que, medidos experimentalmente, dan la ley de descenso de las temperaturas en los varios puntos del cuerpo; y las variaciones que tales residuos experimentan, son las que determinan la llamada ley de propagación. Ni fuera difícil demostrar *à priori* la de Fourier, ni sea ella la que fuere empee á la que determina la forma de

propagación del movimiento vibratorio. Una cosa es, cómo éste avanza mientras va por espacios homogéneos y continuos; y otra cosa de todo punto diferente las pérdidas que en su camino sufre al encontrar ciertos obstáculos. Trátase, pues, de dos problemas esencialmente distintos, y no es maravilla que distintas sean también las apariencias.

Ya comprendéis mi pensamiento: insistir más sería ofender vuestra ilustración. De todas maneras yo reconozco de buen grado, porque debe hacerse siempre acatamiento á la verdad, que estas cuestiones no han sido estudiadas con la profundidad que deben serlo y que importa al porvenir de la Física-matemática que lo sean.

Ni éstas ni otras aún referentes á la Termodinámica: cuestiones de las que voy á ocuparme, aunque muy de pasada.

La Termodinámica es ciencia relativamente nueva: su historia, con gran exactitud y gran acierto, aunque á rasgos generales, la ha trazado ya el Sr. Vicuña, y yo no he de hacer otra cosa que tomar los puntos más salientes de esta admirable obra del espíritu moderno, para fijar en ellos por algunos instantes vuestra atención. En dos grandes principios se condensa aquella ciencia importantísima: *primero*, proporcionalidad rigurosa entre los trabajos y las calorías, que es el principio de Mayer; *segundo*, ley de conversión del calórico en trabajo para cualquier curva representativa y para cualquier caída de temperaturas, que es el denominado principio de Carnot.

Uno y otro puede afirmarse que vinieron á la ciencia por concepciones puramente racionales y casi me atrevería á decir que metafísicas; uno y otro han sido comprobados por el método experimental; y hoy en la región de las ideas abstractas, y en el campo de la realidad, son verdades reconocidas y aceptadas. Pero así constituida la ciencia no entra todavía en la gran síntesis dinámica del universo: es una ciencia en cierto modo in-

dependiente de la mecánica; se apoya en leyes empíricas, más ó menos presentidas por grandes pensadores, pero cuyo único fundamento es la experiencia, y hállese en aquel período semi-empírico, semi-racional, en que el fenómeno externo se toma tal como es, sin profundizarlo, y en que, cuando más, se llega á establecer relaciones numéricas entre sus propias unidades y las demás unidades de la Física, para ponerlas empíricamente también en relación unas con otras.

¿Qué dice, en efecto, la primera ley? Que la cantidad de calor que se necesita para hacer pasar la temperatura de 1 kilogramo de agua de 0 grados á 1 grado bajo la presión de 760 milímetros, cantidad de calor que es precisamente la *caloría*, siempre equivale, según las experiencias de Joule, á 424 kilogrametros. No se hace, pues, otra cosa, según acabo de decir, que establecer relaciones numéricas entre dos unidades de dos órdenes de fenómenos: las del calórico y las de la mecánica.

¿Qué dice la segunda ley? Que cuando cierta cantidad de calor pasa ó cae de un nivel elevado, es decir, de una alta temperatura, á otro más bajo ó á otra temperatura mínima, siguiendo el cuerpo que sirve de intermedio el ciclo de Carnot, el calor transformado en trabajo es al calor perdido por el nivel superior, como la diferencia de temperaturas de ambos niveles es á la temperatura absoluta del primero.

Verdad es que por el raciocinio directo se ha procurado llegar al principio de Carnot, pero en todas las demostraciones hay un postulado más ó menos oculto, y ninguna de las que comprende este primer estilo, si se nos permite tal denominación, se apoya en los verdaderos principios de la mecánica racional.

En este punto de su desarrollo, la Termodinámica es una rama de la Física, independiente todavía de las demás: sus principios no se derivan de los que rigen el movimiento de los

sistemas; sus leyes son experimentales; y no se ve de qué modo la teoría de la luz, las ecuaciones de las ondas vibrantes, en una palabra, la mecánica pura, absorberá en sí todo el conjunto de fenómenos termo-dinámicos de la nueva ciencia. Y sin embargo, para conseguirlo se trabaja con empeño y no sin provecho.

Por el pronto si el calor es un movimiento vibratorio, su natural unidad es la fuerza viva, ó sea la expresion  $\frac{1}{2} m v^2$ , y en tal caso natural es también que se exprese por kilográmetros; que ya la mecánica iguala estas dos unidades complejas, *trabajo y fuerza viva*, y prueba su absoluta igualdad: el primer principio de la nueva ciencia, la adivinación admirable de Mayer, es por lo tanto una verdad de orden racional: el calor es una cantidad de fuerza viva, un equivalente del kilográmetro. Hoy nadie lo duda, tal es la masa inmensa de hechos que lo comprueban; y de este modo, de un solo golpe, la mitad de la Termodinámica cae dentro de la gran síntesis, que vengo reseñando á manera de comentario á la memoria del Sr. Vicuña.

Queda el segundo principio, y aunque no todo, algo se ha conseguido para deducirlo de las teorías puras de la Mecánica racional: sirvan de prueba y de ejemplos las demostraciones de Clausius, Le Dieu, y la fundada en la teoría del *viriel*.

Crear que con todo esto y con la teoría de los gases de Clausius se ha conseguido convertir la Termodinámica en una ciencia de igual categoría y dignidad que la ciencia astronómica, que la Optica ó que la Acústica, con unidad tan perfecta y tan ordenada y armónica como aquellas, fuera hacerse grandes ilusiones; pero negar importancia á los resultados obtenidos, fuera, por exceso contrario, hacer alarde de sistemática injusticia.

En espíritu, por decirlo así, la Termodinámica está dentro de la gran síntesis á que aspira y que hoy ensaya la moderna Física: no hay uno de sus principios, que sea incompatible con

los de la Mecánica pura; y de todos ellos, aun hoy mismo, puede darse explicación más ó menos perfecta, acudiendo á las leyes del movimiento. Lo único que falta es una gran teoría, que enlace todos los hechos, que los explique por las fórmulas de las vibraciones, y que resuelva por los mismos conceptos la ondulación del éter, la propagación del calórico y sus efectos mecánicos. Materiales dispersos hay para ello: dar perfecta unidad á todos es lo que falta y lo que importa.

Y he llegado por fin al gran obstáculo contra el cual hoy lucha la Física matemática. La electricidad y el magnetismo.

Nunca el método experimental, ni en grupo alguno de fenómenos, ha obtenido una serie más brillante de victorias, que las conseguidas en esa región misteriosa y semifantástica del flúido eléctrico y del flúido magnético: ha descubierto en ella lo inconcebible, ha realizado maravillas, ha convertido en realidad sueños á que jamás hubiese llegado la imaginación más desbordada ó más fecunda.

Para creer en el telégrafo hay que verlo; para creer en el teléfono hay que oirlo; para creer en la luz eléctrica hay que sentir deslumbrada la pupila ante uno de esos soles de la industria humana, que con los de industria divina compiten, sino en la extensión inmensa del espacio, en las noches negras ó azules de nuestro viejo Globo. Desde la atracción del ámbar, gota perdida de aquel copioso llanto que por su hermano vertieron las heliadas; desde la piedra imán de Plinio y de Ptolomeo; desde el clásico rayo del potente Júpiter, hasta el Palacio de la Industria en los Campos Elíseos de Paris, cuajado de maravillas, inundado de luz, y rebosando energía mecánica por cien hilos conductores, hay buen trecho que andar, y largas historias de portentosos descubrimientos que referir.

Yo no he de referirlos, que todos los sabéis: como los encuentro los acepto y los admiro, y reconozco gustoso, que en su

inmensa mayoría, á la ciencia experimental son debidos, como reconozco con pena, que la Mecánica pura, ó llámese general, como hay quien recientemente propone, no ha podido abarcarlos todavía, ni condensarlos en sus fórmulas fundamentales; en una palabra, que no ha llegado aún el momento de que los fenómenos eléctricos y magnéticos puedan explicarse plenamente en todos sus pormenores por esta sencilla concepción dinámica: *un sistema de puntos materiales que se mueven bajo la influencia de sus acciones mutuas y de fuerzas exteriores*; que tal es el gran problema de la Mecánica y de toda la Física.

Mas no se crea por esto que la electricidad y el magnetismo son repulsivos á las nuevas teorías, y que pugnan con la hipótesis en que aquellas se fundan: antes al contrario vienen á confirmarla de mil maneras y á robustecerla con mil hechos, que sólo por ella pueden ser explicados racionalmente. La hipótesis á que me refiero, supone *materia, éter y fuerza*, según queda dicho: pues los fenómenos eléctricos y magnéticos son de todo punto inexplicables, al menos hasta hoy, sin ese fluido sutil, que es el segundo término necesario de la nueva triada. Sin el éter no hay unidad racional para los fenómenos lumínicos, calóricos, eléctricos y magnéticos; ni siquiera es posible la teoría de la elasticidad, porque el éter representa el elemento repulsivo, y por lo tanto uno de los dos términos de toda fuerza elástica.

Más aún: la electro-estática y la electro-dinámica comprueban experimentalmente, como el Sr. Vicuña os dijo hace un momento, una de las grandes teorías generales de la Física-matemática: la teoría de la potencial.

Todavía más: el gran principio *de la conservación de la energía*, de que también el nuevo Académico os hablaba, haciendo constar su importancia y su generalidad, ha sido comprobado experimentalmente por todos los modernos descubri-

mientos, que en la electricidad y en el magnetismo se han realizado; y ambos grupos de fenómenos, con todas sus leyes empíricas, prueban *la unidad de la fuerza* por manera tan evidente, que negarla, sería negarse el espíritu á toda evidencia y la razón á toda verdad.

Precisamente el fluido eléctrico ha venido á ser como el factor común de todas las potencias naturales: formad con ellas interminable lista, escoged dos á capricho, y tened por seguro que siempre podrá convertirse una en otra por el intermedio de una potencia eléctrica: *todo* puede transformarse en *electricidad*; *la electricidad* puede transformarse en *todo*.

La fuerza del vapor que hierve en la caldera, el empuje del río que desciende por su lecho, la potencia de la catarata que baja hecha espuma por los aires, el choque del viento que de una á otra zona se precipita, el calor solar que en ondas vibrantes trae millones y millones de kilográmetros, las olas que amortiguan su violencia en las tendidas playas ó golpean furiosas en rocas y acantilados, la inmensa ondulación de la marea titánica, energía que da vuelta al mundo, toda caída de temperaturas, todas las afinidades químicas no satisfechas todavía, cuanta fuerza nos es conocida ó lleguemos á conocer, puede convertirse ó podrá convertirse en corriente eléctrica: he aquí el gran principio de la Física moderna: he aquí las maravillas que han realizado las máquinas de inducción.

Que toda potencia puede transformarse en corriente, acabo de decir; pero ¿de qué modo? Por manera bien sencilla: si es fuerza, potencia, energía, podrá comunicar movimiento de rotación á un eje, y basta unir á este eje un ovillo de alambre y hacerlo girar en presencia de un imán, para que por el conductor circule una corriente eléctrica, cuya energía representará una buena parte de la del motor empleado: tal es el tipo de todas las máquinas magneto-eléctricas ó dinamo-eléctricas, sea cual fuere su



aparente complicación. Esto es todo: nada más sencillo, nada más admirable ni más fecundo, así en el terreno práctico de la industria, como en las altas regiones de la ciencia. Toda potencia puede transformarse en movimiento; pero todo movimiento puede á su vez convertirse en corriente: luego el fluido eléctrico es el elemento especialísimo, el factor común en que todas las potencias naturales pueden transformarse, la enrucijada por donde todas las energías pueden pasar.

Y á su vez la corriente eléctrica puede convertirse en fuerza, en luz, en calor, en magnetismo; puede iluminar gabinetes y teatros, plazas, campos y mares; puede fundir cualquier metal como el más potente horno de reverbero; trocarse en acción química y verificar multitud de reacciones; activar la vida vegetal y engendrar tejidos; salvar el espacio con el telégrafo y el teléfono: salvar el tiempo con los acumuladores de Planté y sus análogos. Toda fuerza habíase convertido antes en corriente eléctrica, y ahora veo que á su vez el fluido eléctrico puede tomar las mil formas que reviste la energía universal.

¿Quiero pasar de la fuerza *A* á la fuerza *B*?

Pues convierto la *fuerza A* en CORRIENTE ELÉCTRICA por una máquina de inducción. Y después convierto la CORRIENTE ENGENDRADA, por otra máquina inversa, en la segunda *fuerza B*. Y queda el problema resuelto. Y éstas no son palabras, no son meras teorías, no son vanas imaginaciones, no son caprichosas hipótesis, *son hechos*: solo que estos hechos tienen explicación racional, y por eso son CIENCIA. La ciencia no es un conjunto de hechos, la ciencia es un conjunto de leyes: la ciencia suprema es la ley única.

Es imposible concebir demostración más terminante de la unidad de la energía, ó de la fuerza, como impropriadamente se dice; y es imposible comprobación más patente de la tesis que vengo examinando, que es la primera de las tres que al prin-

cipio de mi discurso os anunciaba. Si todo fenómeno puede identificarse con una fuerza viva, ó, dicho en lenguaje vulgar, con un movimiento, ¿no prueba esto que la materia, la fuerza y el movimiento constituyen el fondo inalterable de las mil y mil apariencias, que el mundo inorgánico nos ofrece?

Por eso decía hace algunos instantes, que la electricidad y el magnetismo lejos de oponerse á la gran síntesis, que del mundo físico pretende hacer la ciencia moderna, constituyen por sí el mejor auxiliar de aquella empresa, y la más elocuente prueba de aquella, que más que hipótesis, es ya admirable y fecundísima verdad. Y sin embargo, la aplicación de las leyes de la dinámica en forma matemática á los fenómenos magnéticos y eléctricos, tropieza con tales dificultades y tan atrasada anda, que diciendo lo que acabo de decir en cuanto al fondo, tengo que sostener lo que dije antes en cuanto á la forma.

En el fondo, la electricidad y el magnetismo están de lleno dentro de la hipótesis unitario-dinámica, si este nombre es permitido: en la forma, no existe una teoría matemática, que ordenadamente agrupe los fenómenos de una y otra clase, como fenómenos de mecánica molecular.

Las teorías matemáticas que existen para estos hechos físicos de que me ocupo, son teorías aisladas, sin verdadero enlace, construídas al contacto de las leyes empíricas para darles forma, sin espíritu sistemático, salvo casos muy excepcionales, y aun á veces opuestas entre sí ó contradictorias.

Para la Electro-estática la teoría de la potencial, de que ya se ocupó el Sr. Vicuña: para las corrientes eléctricas, la ley de Ohm y la hipótesis de Kirchhoff, ó cuando más las fórmulas de Fourier: para calcular la energía de estas mismas corrientes, la ley de Joule: nuevas leyes empíricas y nuevas hipótesis en que aparecen los nombres de Volta, Thomson y Tait para las corrientes termo-eléctricas: un doble sistema en el

estudio del magnetismo; unos autores según la manera de Poisson, Thomson, Weber y Maxwell; otros según la admirable concepción de Ampère: nuevas hipótesis y nuevas fórmulas en la inducción, aunque partiendo algunas del principio de la conservación de la energía: y en fin varios ensayos imperfectos de síntesis general, ensayos por otra parte, que tampoco arrancan del verdadero fundamento de toda concepción sintética, que es la *mecánica*. Es imposible recorrer esta masa un tanto confusa de teorías, sin observar contradicciones: algunas ya las formula Mr. Le Dieu recientemente, y de ellas da cuenta el Sr. Vicuña en su memoria: otras ocurren todavía de mayor trascendencia, y bien podemos asegurar, que no se da un paso en el estudio de estas dos ramas de la Física, sin que el espíritu crítico formule á cada momento formidables objeciones, apremiantes preguntas y nuevos problemas. Sin ir más allá, y como ejemplo tan solo, permítaseme recordar el contraste que resulta, por no darle el nombre de contradicción, entre la ley de inercia de la Mecánica pura y la falta de inercia etérea de la electro-dinámica: en cualquier instante del movimiento, para una partícula ponderable, hay que contar con la dirección de su marcha y con su velocidad; pues en la teoría de las corrientes la velocidad adquirida no influye al plantear las ecuaciones generales ni por su intensidad, ni por su dirección.

Ocurre sobre todo esta pregunta sencillísima, pero decisiva: ¿qué es una corriente?

¿Es un movimiento vibratorio que se comunica y avanza?

¿Es una verdadera corriente etérea, es decir, éter que se transporta?

¿Es algo más complicado que lo que una y otra hipótesis suponen? ¿Es que las atmósferas etéreas de las moléculas ponderables saltan de unas á otras por el desequilibrio que en ellas producen diferencias de potencial del medio ambiente?

Quizá de las tres hipótesis la última es la más satisfactoria; pero de cualquier modo que sea, la teoría mecánica del fluido eléctrico está por formar, esperando sin duda la iniciativa de algún gran matemático, que realice para los fenómenos eléctricos y magnéticos, lo que Newton hizo para la Astronomía, y lo que hicieron Fresnel y Cauchy para la Óptica.

Y parece que aquí debiera terminar esta rapidísima reseña, que á modo de paráfrasis del excelente trabajo del Sr. Vicuña, vengo haciendo en cumplimiento de un inexcusable deber, y quizás para cansancio y molestia de mis benévolos oyentes. Pero no ha de ser sin ocuparme de otra rama de la filosofía natural, que si bien no puede hoy considerarse comprendida en el gran cuadro de la Física matemática, día llegará en que lo esté con aplauso de todos, dado que en el momento actual, con recelo y con extrañeza han de verse por algunos estas al parecer forzadas aproximaciones, que intento realizar, entre la Mecánica y la ciencia de que voy á ocuparme: ciencia que no es otra que la Química, el gran triunfo del método experimental, el eterno rebelde al alto cálculo, el más difícil, el más fecundo y el más trascendental de todos los ramos que al estudio del mundo inorgánico corresponden.

Yo me propongo sostener, sin embargo, que es lógica y que será fecunda la tendencia de cuantos aspiran á convertir la Química, siquiera sea para remotos tiempos, en una de tantas ramas de la Física, y aun mejor de la Mecánica racional, como aquella y esta han de comprender en su día; para lo que comienzo por establecer, que no existe incompatibilidad de ningún género entre los fenómenos físicos y los llamados fenómenos químicos.

Todo hecho químico está comprendido en esta fórmula general: cuando se ponen en presencia y en condiciones de reacción dos ó más cuerpos,  $M$  y  $M'$  por ejemplo, poseyendo el

primero las propiedades físicas  $A, B, C, \dots$ , y el segundo las propiedades  $A', B', C'$ , de su combinación resulta otro cuerpo ú otros varios, sea uno  $M''$ , poseyendo las propiedades físicas  $A'', B'', C''$ , distintas cuantitativamente de las anteriores.

No hay otra cosa en la Química, por más que en ella se rebusquen propiedades especialísimas é irreducibles á las del orden físico.

Dos cuerpos son gaseosos y su combinación á la temperatura y presión ordinarias es por ejemplo *líquida*: pues se ha convertido un estado en otro; una agrupación molecular en otra agrupación molecular; cierta forma física en otra forma física diversa.

Los dos cuerpos de nuestro ejemplo tenían determinada densidad y el resultado químico de la combinación tiene otra densidad diferente: pues se ha convertido una densidad en otra, que es todavía transformar cualidades físicas entre sí. Y lo mismo para todos los demás casos.

En suma, ambos cuerpos por separado presentan determinados caracteres cuando se someten á influencias lumínicas, caloríficas, eléctricas, magnéticas ó puramente mecánicas; y estos son sus propios caracteres, sus propiedades físicas, aquellas por las cuales son lo que son, y tienen nombre, y si la imagen no es atrevida con exceso, hasta diríamos que personalidad. Pero se combinan, y el *resultado de la combinación* es un sistema físico, que sometido á las mismas influencias anteriores de la luz, del calor, del magnetismo, de la electricidad, del movimiento, ó de éste y de la fuerza, presenta propiedades del mismo orden físico que los componentes, pero cuantitativamente distintas. Es el cuerpo resultante, por ejemplo, más ó menos trasparente que sus dos cuerpos constitutivos; más ó menos apto para conducir el calor ó la electricidad; los coeficientes de refracción han variado; todo el armazón numérico de

la física de ambos cuerpos ha sufrido, digámoslo así, determinadas flexiones; pero no más.

Unas cualidades físicas se han convertido en otras con distintos valores numéricos: tal es el resultado de toda reacción química, y no es otro, por más que se apure el ingenio en descubrir singularidades.

La Química es, según esto, un medio dinámico de transformar cualidades físicas cuantitativamente por transformaciones atómicas de los sistemas: por hoy no es otra cosa.

Y ahora, ¿se considerará como atrevimiento si digo, que no existen las cualidades químicas, como algo irreducible y exclusivo? ¿si sostengo, que en realidad no son más que propiedades mecánicas de los sistemas atómicos por las que las apariencias de ciertos movimientos, movimientos que constituyen el fondo de todos los fenómenos físicos, se transforman en cantidad y en aspecto dinámico, por decirlo de este modo? Pues táchese ó no de osada tal afirmación, hecha queda con el profundo convencimiento de que es cierta.

Por el pronto, así como las entidades aristotélicas se desvanecieron, como murieron los dioses del Olimpo pagano, las entidades de la Química van desapareciendo también, y en fenómenos del orden puramente mecánico, es decir, en materia, movimiento y fuerza se convierten poco á poco. Esto le sucedió al calor, á la electricidad, al magnetismo, á la luz, y esto comienza á sucederle á la afinidad química, fuerza hasta hoy misteriosa, impenetrable y de todo punto irreducible.

Y sin embargo, la Termo-química, como en la admirable obra de Berthelot y en otras análogas se demuestra, da nuevo sentido y más precisa definición á estas caprichosas afinidades de la antigua Química, que de ella hacían, más que verdadera ciencia, pesado conjunto de reglas y procedimientos con ca-

racteres infalibles de sabias recetas para mezclas y combinaciones extrañas.

Los cuerpos, según la nueva teoría, tienen más ó menos tendencia á combinarse, salvo casos singularísimos, que hay manera de traer á la regla general, en proporción al calórico que de su combinación se desprende. Gran ley de las reacciones químicas, y ley que tiene explicación completa en las nuevas teorías dinámicas del mundo inorgánico; porque es en el fondo la teoría de la máxima estabilidad de los sistemas.

Pero séame permitido, siquiera sea por breves instantes, detenerme en esta trascendental cuestión, en la cual hay algo nuevo que decir todavía, y mucho que entender; aunque para ello tenga que fatigar, aun más de lo que hasta aquí he fatigado vuestra paciencia, con áridos y enojosos desarrollos.

Los descubrimientos más recientes de la química, todo linaje de probabilidades filosóficas, y las mismas modernísimas hipótesis á que he hecho referencia en las anteriores páginas, demuestran, que no ya las moléculas, pero ni siquiera los átomos de los cuerpos simples son elementos únicos, indivisibles y homogéneos; más bien debe creerse, aunque estas creencias no pasen de conjeturas, que constituyen sistemas de puntos materiales dotados de grandísima estabilidad: *estabilidad* tan enorme, que ha resistido hasta hoy á todos los medios y á todos los agentes, que el análisis ha empleado para destruirla, pero estabilidad que no es absoluta ni por lo tanto indestructible. La naturaleza dinámica y estática de estos sistemas, la cantidad de materia de que se componen, la ordenación geométrica de estos mundos-en miniatura dentro de cada uno, las atracciones de sus diferentes sub-átomos y la cantidad de éter que contengan, y que es origen de toda fuerza repulsiva, bastan para dar carácter propio á cada individualidad química, al oxígeno, al hidrógeno, al carbono, á la lista siempre creciente y

un tanto vacilante de los cuerpos simples, ó de sus propias condensaciones.

Tener, pues, dos ó más átomos de otros tantos cuerpos simples en presencia unos de otros, es poner en relación verdaderos sistemas mecánicos de puntos: pero cuando *un sistema* se precipita por la ley general de la atracción sobre *otro sistema*; cuando llega su centro de gravedad á la posición de equilibrio entre atracciones y repulsiones de ambos (dado que este punto esté fuera de los dos); cuando por las velocidades adquiridas va más allá y se acerca al primero, y las fuerzas repulsivas ó elásticas dominan, y el sistema retrocede; cuando pasa por las mismas velocidades que trajo, y salva de nuevo en esta semi-oscilación, aquella posición de equilibrio de que antes hablaba; cuando, finalmente, se aleja y recobra su primitiva velocidad,—llámese un sistema *oxígeno y carbono* el otro, ó *cloro* el primero é *hidrógeno* el segundo, ó llámense como quieran llamarse, la combinación no se ha realizado. Un átomo golpeó contra otro y fué por él despedido; han sido bolas de billar perfectamente elásticas que chocan y se separan; en suma, no resulta unión íntima y profunda de los elementos que el químico puso en presencia al comenzar su experimento.

No hay desarrollo de calor, y no hubo combinación.

Pero por el contrario, á medida que el *primer sistema* se acerca al *segundo*, ¿la fuerza viva del movimiento de avance, fuerza que se va engendrando por el trabajo motor de las atracciones y que va creciendo, pasa por virtud de las leyes mecánicas de la distribución de la energía al interior de ambos sistemas, y se convierte en vibración de sus diversos sub-átomos, y por el éter ambiente radia á lo exterior en forma de calórico? Pues ya tenemos aquí los dos hechos coexistentes de toda combinación química (ó de casi todas); la gran ley de la Termoquímica en todo su vigor; y la explicación racional, clara, sen-



cilla, verdaderamente luminosa de esos profundos fenómenos químicos hasta nuestro tiempo de todo punto inexplicables.

Los dos hechos de toda combinación aparecen aquí coexistiendo, he dicho: y en efecto, por una parte aparece un *desarrollo de calórico*, que antes no existía; por otra, convertida que es la velocidad de traslación en movimiento vibratorio, como tal velocidad de traslación perdida queda, y ambos sistemas, ambos átomos puede decirse, permanecen unidos á la distancia de equilibrio que les pertenece, dada su composición mecánica; resulta, pues, realizada esa unión íntima y á corta distancia entre los dos átomos, unión que constituye el nuevo cuerpo compuesto.

Hubo desarrollo de calórico, y la combinación aparece, como si fuesen ambos fenómenos dos términos inseparables de una misma realidad dinámica.

Verdad es, Señores, que hay un orden de fenómenos que á primera vista queda totalmente excluido de esta novísima teoría Termo-química, á saber: todas aquellas combinaciones que se realizan con absorción de calórico y á las que se da el nombre de endotérmicas; cierto es además, que ninguna explicación satisfactoria se ha dado, al menos explicación que yo conozca, de estos singulares y extraños casos, que constituyen excepciones á la regla general; y sin embargo, no me parece imposible abarcar una y otra clase de combinaciones en una sola teoría mecánica, y si tuviera tiempo para ello, y la ocasión fuera oportuna, aun lo intentaría. Pero reconozco que no lo es: sobradamente he abusado de vuestra paciencia con estos pormenores técnicos á que desciendo y que tan impropios son de esta clase de Memorias, y concluiré mi digresión observando, que basta admitir que las curvas representativas de las atracciones y repulsiones de dos átomos ó sistemas atómicos se corten en tres ó más puntos en vez de cortarse en uno, como general-

mente se supone, con lo cual tendremos alternativamente posiciones de equilibrio estable é inestable, para explicar todo linaje de combinaciones químicas, ya desarrollen calórico, ya lo absorban, ya pertenezcan á uno ú otro grupo de los que, el eminente químico francés antes citado, llama combinaciones exotérmicas ó endotérmicas.

Por ejemplo, si el trabajo desarrollado hasta el primer punto, ó mejor dicho hasta la primera posición de equilibrio estable, queda casi destruído desde esta posición hasta la intermedia de equilibrio; si penetrando el sistema en la región que media desde esta á la tercera posición también de equilibrio, una cantidad de fuerza viva superior á aquella con que penetró en dicha región se convierte en calor, en ella quedará oscilando el átomo ó sistema atómico de que se trata, y la combinación será un hecho, y el calórico desprendido podrá ser mayor ó menor que el correspondiente á la fuerza viva media de traslación que vimos desaparecer. Valga esta indicación somera y hasta incorrecta con que pretendo dar cierta idea, aunque vaga, de un fenómeno verdaderamente complicado.

Pero hay más: por este método puramente mecánico, y partiendo siempre de esta misma hipótesis, que, según queda dicho, comprende tres términos, materia y éter, fuerzas atractivas y repulsivas, y movimiento, no sólo se concibe que la diversidad de cuerpos simples, que nos enumera la química, pudieran *expresarse* por una *unidad* común, aunque jamás llegaran á descomponerse prácticamente; no sólo se reducen á su *unidad* también todas las fuerzas físicas y químicas, incluyendo la ya vieja y gastada de la afinidad; no sólo todas las reacciones químicas alcanzan explicación racional, que andando el tiempo puede conducir á la matemática previsión, así cualitativa como cuantitativa, de todas las combinaciones imaginables, sino que uno de los caracteres más extraños de los fenómenos quími-

cos se desvanece á su vez convirtiéndose en cualidad puramente física, ó por mejor decir, puramente mecánica.

¿Quién hay, que al comparar la afinidad química con la atracción física, no haya notado una diferencia profunda, radical, y que podría creerse irreducible entre una y otra fuerza del mundo inorgánico? La atracción física es por decirlo así inagotable: las masas atraen á las masas, y cuánto mayor número de masas atraen, más fuerza atractiva poseen: por haber atraído un centro material, dos, tres, un número mayor de cuerpos, no pierde la propiedad de atraer otros nuevos, ni la fuerza por decirlo así se sacia, ni la facultad atractiva se satura, antes bien se sobrecita y crece, que más atrae todo cuerpo cuanto mayor es su masa.

Bien al contrario de este apetito insaciable de la atracción física, la afinidad escoge, elige, llega hasta cierto punto y de allí no pasa. Atrae un átomo á otro, y hay una primera saturación; el conjunto de ambos atrae á otro tercero, y la saturación crece; y así continúa la afinidad ejerciéndose, pero hasta cierto límite, que no salva jamás: las combinaciones químicas se realizan, pues, en proporciones definidas y limitadas, y esta es una gran ley, ora se explique por la teoría atómica, ora por la de los equivalentes, ó por otra cualquiera que se imagine.

Diferencia profunda, decíamos, que sin embargo todo hace creer que en meras exterioridades sensibles se funda, y que á la luz de nuevos hechos ha de desvanecerse.

Por el pronto la Termoquímica da una primera explicación de orden puramente mecánico, y que se refiere al gran principio general de esta ciencia: la combinación de dos ó más átomos *A*, *B*, por ejemplo, constituye un *nuevo sistema*, en que la forma geométrica de los elementos, sus masas y la proporción entre la materia ponderable y el éter son cosas distintas de todo punto de las del sistema primitivo *A*; de don-

de resulta, que al precipitarse uno sobre otro los átomos  $A$  y  $B$  puede haber transformación del movimiento de avance en movimiento vibratorio, anulación de aquel movimiento, impotencia para separarse ambos átomos y combinación definitiva de  $A$  con  $B$ ; y que, por el contrario, no es imposible que el nuevo sistema compuesto  $AB$  en presencia de otro átomo  $B$ , ni desarrolle calórico, ni anule los movimientos relativos de traslación, ni permita la formación de un nuevo sistema  $AB^2$ .

Con esta tendencia de nuestro espíritu á crear entidades y á materializar fantasmas, creó la Química la fuerza de afinidad como algo propio y característico, como una verdadera fuerza de especialísima índole, que tenía sus caprichos, su limitado apetito y hasta sus tornadizas predilecciones. La molécula  $A$  atrae á la molécula  $B$ , y á ella se une; y aun atrae otra más y se une á dos átomos  $B$ ; pero de repente cesa este apetito del átomo  $A$  por los átomos  $B$  y rechaza el tercero que á solicitarla llega: en verdad que tales fenómenos en esta forma vistos y como acciones intermitentes de fuerzas caprichosas de atracción explicados, ni por bien vistos, ni por bien explicados los tendrá ningún espíritu severo.

Tales fenómenos, por el contrario, se explican plenamente en la teoría termoquímica; porque no es ya una entidad abstracta, un ser casi vivo y caprichoso, que unas veces atrae y rechaza otras, una sed inorgánica que se sacia ó no se sacia; es una sola ley aplicable á todos los sistemas: primero el sistema  $A$  atrae al sistema  $B$ ; después no es ya el centro constante  $A$ , la entidad invariable, sino otro nuevo sistema  $AB$  distinto de todo en todo del primero, el que atrae ó rechaza los nuevos átomos del segundo sistema  $B$ .

Sólo queda una cuestión por dilucidar, y es la siguiente: ¿cómo unos átomos al chocar entre sí pierden su velocidad relativa de traslación y quedan unidos químicamente, es decir,

mecánicamente juntos á distancias de equilibrio, convirtiendo aquella velocidad en calórico, y otros sistemas no son capaces de efectuar esta trasformación ni de combinarse? Problema es este complicadísimo de mecánica, en el que no puedo detenerme, pero en el que sin embargo se adivina, siquiera sea en términos generales, una solución clara y sencilla; me contentaré, pues, con recordar á manera de ejemplo, que hay cuerpos elásticos *que chocan y se separan*, así como hay cuerpos blandos que *chocan y quedan unidos*, imágenes ambas toscas y groseras, pero expresivas, de los dos principales fenómenos de la Química: la combinación ó la no-combinación.

Diré, sin embargo, todavía, y en términos generales, que cuando un sistema *B* ejerce sobre todos los sub-átomos de otro sistema *A* fuerzas resultantes (teniendo en cuenta atracciones y repulsiones) próximamente iguales y paralelas, en dicho sistema *A* no hay movimientos relativos, ni vibración, ni calórico; y que, por el contrario, cuando dichas fuerzas son distintas, la elasticidad del sistema entra en juego, unos sub-átomos cambian de posición respecto á otros y la vibración del sistema es inevitable. De todas maneras el problema es difficilísimo, hoy se presenta intacto á la investigación científica, ningún autor lo señala aún como clave de futuros descubrimientos, y un horizonte ilimitado se extiende ante el matemático y el físico, así como viene á solicitar á ambos un nuevo género de experiencias hasta hoy desconocidas: las que tengan por objeto determinar sistemática y experimentalmente la constitución geométrica y mecánica de los átomos de los cuerpos simples. Y cuenta que si estos son hoy verdaderos sueños, quizás en el porvenir sean realidades maravillosas.

Con lo cual queda terminado el examen que me propuse hacer de la primera de las tres hipótesis, que sirven para dar unidad y alto carácter científico al conjunto de hechos y de

leyes parciales, que hace pocos momentos señalaba el nuevo Académico con tan minuciosa exactitud histórica y con tan alto sentido filosófico.

Pero recordemos que las hipótesis eran tres, y que una tan sólo llevamos estudiada; y este recuerdo no os alarme, porque de las dos últimas poquísimamente he de decir, y desde ahora os anuncio que estoy terminando mi tarea.

Con la materia ponderable y el éter, con fuerzas atractivas y repulsivas, y con velocidades adquiridas, hemos visto que podía fabricarse una gran síntesis, en la que todos los fenómenos de la Física, y aun los mismos fenómenos químicos estuviesen comprendidos como meros problemas de dinámica; de suerte que el día en que esta fundadísima esperanza, que en gran parte es realidad, se realice por entero, el mundo inorgánico estará expresado en fórmulas matemáticas, la razón dará la ley, la experiencia el valor numérico de ciertos coeficientes, que más y más se irán reduciendo, expresándose unos en función de otros, y la ciencia se habrá elevado á su mayor altura, si es que hay un límite en esta ascensión admirable del espíritu hacia la verdad, que por ser verdad es al mismo tiempo una é infinita.

En la segunda de las dos hipótesis, antes y repetidas veces señalada, aun se reducen más los conceptos fundamentales: ora se prescinde por completo de la fuerza, ora se prescinde tan sólo de la fuerza atractiva, conservando no obstante la fuerza de repulsión: *átomos duros* ó *átomos elásticos*, y *movimiento* de unos y otros en ambos casos: de esta suerte se pretende explicar todos los fenómenos de la materia en la teoría atómica del P. Secchi ó en la de los corpúsculos elásticos del P. Leray.

Sea cual fuere el valor de cualquiera de estas hipótesis, y aun cuando una de ellas llegara á prevalecer, de ningún modo dañaría á los trabajos precedentes, que hemos historiado; por-

que es lo cierto, que ni los niegan ni los trastornan, y que vendrían en todo caso á explicar por nuevos hechos más íntimos, un hecho real ya tenido en cuenta y apreciado, si la frase es exacta, en globo y en conjunto.

Las masas se mueven *porque se atraen* ó *como si se atrajesen*: este es el *hecho*, y la dinámica, partiendo de él, establece sus fórmulas, que establecidas quedan para siempre, porque se fundan en *realidades observadas* y en *conceptos matemáticos*.

¿Se atraen realmente? Pues la primera hipótesis impera y se confunde con la verdad.

¿No se atraen? ¿La atracción es una apariencia? ¿La fuerza no existe? No importa; como fórmula esquemática, y como elemento lógico, y como expresión numérica de un fenómeno subsiste todavía, y subsisten íntegras las consecuencias que de aquella primera hipótesis se dedujeron. Lo que en todo caso sucederá es, que la nueva hipótesis, penetrando más profundamente que la anterior en la realidad de los fenómenos, descompondrá el concepto complejo de fuerza, si lo fuere, y anunciará nuevos fenómenos, que la experiencia por su parte ha de comprobar en todos sus pormenores, así en las leyes como en las relaciones numéricas, para que la nueva hipótesis prevalezca.

Porque esta es la ventaja que se consigue cuando la teoría va constantemente apoyada en la experiencia: que ningún trabajo es inútil, que ningún descubrimiento se anula, que ninguna gran ley se desvanece, que cada hipótesis da de sí cuanto puede dar; y cuando es ya organismo gastado é infecundo, una nueva hipótesis, más comprensiva que la anterior, recoge la obra de aquella, íntegra, intacta, y la eleva á mayor grado de generalidad, enriqueciéndola con la explicación racional de nuevos hechos y la grandeza de nuevas y más altas leyes. Toda la *Optica geométrica* subsiste aun después de haber triunfado la teoría de las *ondulaciones*: toda la *Termodinámica* sub-

sistirá cuando se explique toda ella por las ecuaciones generales del movimiento: subsiste la teoría de la elasticidad, aunque al método de Lamé se sustituya el de Cauchy.

De este modo eslabonadas, las hipótesis son legítimas, fecundas é inevitables.

Y nos queda la última, sobre la cual sólo breves frases habremos de escribir.

En las dos primeras se admite la discontinuidad de la materia: entre el átomo y el átomo, el vacío ó el éter, y aun éste, según muchos autores, como agregado de átomos repulsivos entre sí y á ciertas distancias colocados en determinada ordenación geométrica.

Esta última hipótesis, que tiene su expresión más perfecta en una admirable memoria de Helmholtz sobre los torbellinos líquidos, no ha llegado á su pleno desarrollo todavía, y únicamente parece que se relacionan con ella ciertas experiencias recientes sobre movimientos hidro-eléctricos. De todas maneras, y como he dicho para la hipótesis anterior, la ciencia subsistiría íntegra en sus grandes fórmulas como en sus hechos, aun cuando se aceptase esta última hipótesis: el átomo no sería cuerpo duro, ni corpúsculo elástico, especie de monada á lo Leibnitz, ni centro de fuerzas; pero sería una especie de anillo líquido en torbellino anular también, con individualidad propia é indestructible: la fuerza no sería una realidad como en la primera hipótesis, ni una apariencia como en la segunda, ni la única realidad sustancial como en algunas hipótesis dinámicas de que no he podido ocuparme; pero sería una resultante de presiones en la masa incomprensible del flúido universal: y no por esto el edificio científico, á tanta costa levantado, peligraría en su conjunto, porque, como tantas veces he repetido, fundado como está en hechos reales y en leyes matemáticas. es de todo punto indestructible su fábrica semidivina.



Y he llegado al fin de mi trabajo, habiéndome extendido más de lo que pensaba, con no haber hecho en todo él mas que indicaciones generales y alguna que otra observación, que de paso haya podido ocurrirme; pero el Sr. Vicuña ha abarcado en su notabilísima memoria tantos y tantos problemas, ha abierto ante mí tan anchos horizontes, y tiene la Física matemática tan fuertes tentaciones para el que á su estudio se dedica, que á veces no he podido resistir, y á la tentación he cedido.

Dispensadme, pues, la aridez y la precipitación de las confusas líneas que preceden, y no quede del solemne acto á que asistimos, más que el concienzudo trabajo del Sr. Vicuña, y el recuerdo de la verdadera satisfacción con que todos los Académicos acogen á su nuevo y distinguido compañero.— HE DICHO.