

el carbón, es el establecimiento de grandes depósitos en tierra y el transporte a los buques por barcos análogos a los aljibes, que pueden utilizarse en cualquier muelle o fondeadero del puerto, mientras aquellos hacen sus operaciones de carga y descarga.

* * *

Quedan, con lo reseñado, expuestas las principales tendencias que se manifiestan hoy día en la construcción naval y que pueden merecer la atención de los ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Al tratar de cada una de ellas he señalado las condiciones que los puertos o sus elementos deben reunir para que sean adecuados para los medios de transporte marítimo cuyas estaciones han de ser. Quizá haya quien juzgue que las cifras que he dado para los calados y las dimensiones de las grúas y la abundancia de medios auxiliares que he aconsejado como necesaria, o al menos conveniente, sean excesivas para el tráfico de nuestros puertos, ya que representarían gastos cuantiosos y no justificados por el momento. Pero tengamos presente que cuanto más escaso sea el tráfico más a lo lejos debe mirarse hacia el porvenir. Si

un puerto no tiene suficiente calado o unas grúas de suficiente radio para los buques que le visitan, al cabo de quince o veinte años de efectuadas sus obras o establecidas aquéllas, habrá amortizado el valor de unas y otras y podrá sustituirlas sin quebranto si es un puerto de tráfico muy intenso; pero, en cambio, si su movimiento es escaso, tendrá que proceder a costosas reformas antes de haber conseguido el provecho y la amortización de las primitivas.

Hemos visto que los grandes buques y los grandes calados son los más ventajosos para el transporte transatlántico, y si hemos de establecer con los países de nuestra raza las relaciones comerciales que unos y otros deseamos, es preciso que nuestros puertos se hallen habilitados para tales buques, so pena de tener que emprender la competencia con buques insuficientes y costosos, es decir, con la seguridad de ser vencidos por quienes se encuentren mejor preparados. La habilitación de nuestros puertos es una empresa nacional y patriótica.

Juan BOTÍN Y POLANCO
Ingeniero de Caminos

Junio 1923.

Valor y significación de las leyes científicas

El hecho científico.

Toda ciencia física tiene como punto de partida y como última razón práctica un cierto conjunto de hechos de experiencia. Esos hechos de que parten las ciencias, y que constituyen sus elementos últimos, necesitan ser de una cierta clase para que realicen propiamente su misión. Los elementos primordiales de la Ciencia Física (a ella nos referimos exclusivamente, en su más extensa acepción), no son nunca los *hechos brutos*, tales como nos los da *grosso modo* la experiencia ordinaria. Son otra categoría de hechos, dentro siempre de la Naturaleza, pero revestidos de una armadura racional, ricos ya en interpretaciones y simbolizaciones humanas: tales son los *hechos científicos*.

No por ser de una evidencia inmediata es menos fundamental y menos rica en posteriores consecuencias esta primordial distinción entre los hechos brutos y los hechos científicos. Un intento de expresar y acentuar esta diferencia constituirá la primera parte de este trabajo.

Considérense hipotéticamente dos observadores: el observador no científico ante el hecho bruto, y el hombre de ciencia ante el hecho científico. Y sea, por ejemplo, el fenómeno natural observado, que va a servir de soporte real a ambos hechos, lo que en la terminología científica se llama una *corriente eléctrica*.

Esta corriente eléctrica se hace pasar por la resistencia BC, manteniendo entre B y C una diferencia de potencial variable a voluntad. Dicha diferencia de potencial y la intensidad correspondiente se me-

dirán, respectivamente, en cada caso con el voltímetro V y el amperímetro A.

Supóngase ahora que se realiza el experimento de establecer las conexiones indicadas, haciendo variar sucesivamente el número de elementos de la batería. ¿Cuál será, entonces, el hecho bruto para el observador no científico? Después de considerar éste atentamente el fenómeno que ocurre ante él, sin ninguna

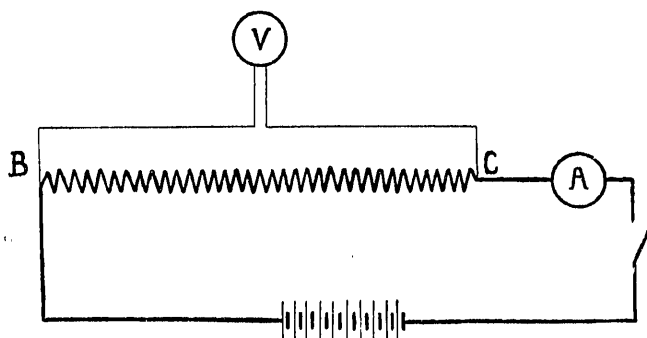


Fig. 1.^a

idea preconcebida, podrá traducirlo del modo siguiente: «Las agujas que hay en V y en A se mueven al variar los elementos de la batería. En todos los casos guardan una relación constante los números señalados en V con los señalados en A.»

Esto diría el observador vulgar, y en verdad que no podría tachársele de observar mal. Sus palabras dan todo el contenido del hecho bruto. ¿Hay en ese contenido lo bastante para alguna consecuencia científica? No, evidentemente no; de él no puede obte-

nerse nada que exceda su significación inmediata. El hecho puro y simple que han visto los ojos del hombre no científico, contiene ya en germen todo cuanto nos dará el hecho de ciencia. Pero entre uno y otro, ¡qué abismo más grande no existe!

Compárese, en efecto, el hecho que va a tener lugar ante el sabio, con el que nos ha glosado el profano. Pero este hecho que va a producirse frente a la laboriosa atención del investigador es algo demasiado complejo para que podamos acercarnos a él sin una previa preparación. El intelecto científico que se apresta a interrogar al hecho natural producido por él, va impregnado de rica sustancia racional, lleva un mundo de simbolizaciones y de ideas preconcebidas dentro de sí mismo. No podríamos seguir su interpretación del hecho; no entenderíamos el hecho científico tal como nos lo va a explicar, si antes no procuramos llevar a nuestro espíritu algo, por lo menos, de aquella labor previa, de aquella *anticipación* o *simbolización*, que salen al encuentro del fenómeno científico, como nuestra conciencia sale al encuentro de la palabra humana y le da un sentido.

Interrogado por nosotros, el sabio empezará por decirnos—preparándonos a la comprensión del hecho que se va a observar—que los dos aparatos A (amperímetro) y V (voltímetro) sirven para *medir* una corriente eléctrica y una diferencia de potencial eléctrico. Si entonces le preguntamos lo que entiende por estas dos cosas, para darnos una explicación satisfactoria se remontará a una *teoría*; nos dirá, por ejemplo, que la corriente eléctrica es el paso de una cierta *cantidad de electricidad* por segundo por una sección del hilo-resistencia, y que esta cantidad de electricidad está formada por *electrones*, cargas elementales que llevan siempre la misma masa eléctrica.

Luego tendrá que explicarnos el científico el fundamento de sus medidas. Así, si le interrogamos, curiosos, deseando saber por qué las indicaciones de la aguja en A son proporcionales al número de electrones que pasan por una sección del hilo en la unidad de tiempo, tendrá que extenderse en consideraciones sobre la acción magnética de la corriente, etc., etc.

En resumen: que antes de consentirnos el acercarnos siquiera al hecho científico, el sabio ha tenido que darnos unas cuantas lecciones de electricidad, al final de las cuales ya sabemos:

1.º Que lo que va a ocurrir en el hilo BC es algo que se denomina el paso de una *corriente eléctrica*, la cual se define de un modo riguroso.

2.º Que el valor de esta corriente viene *medido* por el amperímetro A.

3.º Que entre B y C existe una diferencia de *potencial eléctrica*, conforme a la rigurosa definición que se da de éste.

4.º Que el valor de esta diferencial de potencial viene *medido* por el voltímetro V.

Una vez ya en posesión de estas previas *definiciones* y *medidas*, podemos ir con el sabio al estudio del fenómeno y a su interpretación como hecho científico. He aquí cómo dará esa interpretación el hombre de ciencia, una vez realizado el experimento:

«Entre B y C circula una corriente eléctrica de *intensidad* I, existiendo entre ambos puntos una *diferencia de potencial* U. Al variar esta última, varía

también la intensidad I, pero conservándose siempre $\frac{U}{I} = \text{constante}$. Ese cociente constante resulta característico de cada conductor, y se puede expresar como siendo igual a la *resistencia* del mismo al paso de la corriente. La experimentación dice, por tanto, que $\frac{U}{I} = R$, o sea $\frac{\text{dif. de potencial}}{\text{intensidad}} = \text{resistencia}$. (Ley de Ohm). Este es el hecho científico.»

Se ve, en consecuencia, que este hecho científico nos da el fertilísimo contenido de la simple expresión matemática $\frac{U}{I} = R$, base de toda aquella parte de la Electricidad que se ocupa de los circuitos compuestos de conductores.

A diferencia del hecho bruto, del hecho puro y simple, este hecho científico tiene un contenido que sobrepasa indefinidamente su significación inmediata. Y esto es así porque versa sobre magnitudes cuya significación se ha definido y *simbolizado* de antemano, y las cuales se sabe medir rigurosamente. El resultado del hecho científico puede ya expresarse en una forma simbólica, convertirse en una *fórmula matemática* y ser el punto de partida de sucesivas generalizaciones. Entonces es cuando se ha adquirido verdaderamente el elemento último de las ciencias físicas.

Podrían resumirse del modo siguiente las características necesarias del hecho científico, que le diferencian profundamente del hecho puro y simple:

a) El hecho científico exige la definición precisa de las magnitudes que en él intervienen, basándose esta definición, explícita o implícitamente, en una teoría que da significación rigurosa a los términos definidos.

b) Exige también la medida exacta de esas magnitudes y, por tanto, una fundamentación previa de los métodos de medida empleados.

c) Se le hace producirse en una cierta dirección, y esto porque se produce bajo una idea predeterminada. Con el hecho científico se busca la contestación a una pregunta, la confirmación de una hipótesis. Las ciencias físicas no habrían progresado, como lo han hecho, con pasos de gigante, de no existir esa dirección racional en la investigación, llevando el hecho científico a producirse en el terreno donde la hipótesis ha fraguado antes sus anticipaciones.

* * *

Este ligero análisis del hecho científico nos muestra ya una primera y esencial intervención humana en el contenido de las ciencias físicas. El sello humano, la huella de la racionalidad, no va solamente en los últimos resultados teóricos de las ciencias físicas, sino que se encuentra ya en sus primeros fundamentos, en los datos más próximos y directos de la Naturaleza misma.

El hecho científico va revestido de un ropaje simbólico e interpretativo; es algo complejo que excede a la Naturaleza en tanto como la interpretación racional excede a la pura apariencia. En ese hecho tiene lugar una experiencia *humana*, en el más amplio sentido de la palabra; y, si se tiene en cuenta la ac-

tiva intervención del sabio en su realización, definición y medida, puede casi afirmarse, sin miedo a la paradoja, que es una *creación* del hombre científico.

La Ciencia, en efecto, no interroga simplemente a la Naturaleza, sino que la interroga empleando un cierto lenguaje simbólico y racional y dentro de ciertas reglas estrictas. Y el hecho científico se encuentra ya en la confluencia de la pura Naturaleza y de la pura Razón, llevando tanto de la una como de la otra en armonioso contenido.

La simbolización.

En otra forma puede también expresarse cuanto se ha indicado como característico del hecho científico.

Las ciencias físicas sólo se constituyen estableciendo una rigurosa correspondencia *biunívoca* entre los distintos elementos que integran los fenómenos naturales y ciertos *símbolos o ideas científicas*, rigurosamente definidos. A cada elemento natural que forma parte de un fenómeno sometido a estudio, se le hace corresponder un símbolo determinado, y, recíprocamente, a cada idea o símbolo científico se hace corresponder únicamente un elemento constante y característico de la Naturaleza.

Gracias a esta correspondencia biunívoca se consigue establecer paralelamente al mundo real, al mundo de la pura Naturaleza, otro mundo de símbolos científicos, reflejo racional de aquel en la conciencia del investigador físico.

En este reino de los símbolos, a los hechos naturales, considerados como simples manifestaciones de relaciones *reales* entre los elementos naturales que integran un fenómeno, corresponden con todo rigor los hechos científicos, que son ya relaciones *ideales* (matemáticas las más veces) entre los símbolos previamente establecidos en correspondencia con aquellos elementos de la pura realidad.

De esta manera, el hecho científico, el elemento último de las ciencias físicas, puede alcanzar todo el rigor que necesita para las generalizaciones y consecuencias posteriores. Pues ese hecho viene ya expresado como una relación ideal entre ideas científicas rigurosamente definidas, relación que puede presentarse en lenguaje matemático, de tan fértil contenido racional.

Este procedimiento general de simbolización, que vemos ya aparecer con toda su importancia en las bases mismas de las ciencias físicas, domina en absoluto en toda la inmensa extensión de éstas.

En efecto; las ciencias físicas no podrían existir como tales sin *postular* por adelantado este universo de los símbolos, establecido en correspondencia unívoca y recíproca con el universo real, y dentro del cual encuentran únicamente significación y sentido las investigaciones del hombre de ciencia. En dicho mundo de los símbolos, reino de pura razón, la Matemática es soberana, y las existencias ideales postuladas entran sin esfuerzo en toda clase de símbolos algébricos. Los tiempos son t ; las longitudes en tres dimensiones son x, y, z ; un fenómeno cualquiera es, en último término, la integración de un sistema de ecuaciones diferenciales.

Obsérvese que este mundo de los símbolos, anteriormente a la severa correspondencia que las ciencias físicas, al hacer uso de él, le exigen con los elementos de la Naturaleza, es una pura *creación* del hombre científico. Independiente de toda posible significación física, éste puede crear, y crea efectivamente, un universo de puros símbolos y de relaciones entre ellos. Eso son las Matemáticas, y, en principio, sólo son eso algunas partes de ellas, que acostumbra a enseñarse como prolegómenos a algunas ciencias físicas (la teoría de vectores, por ejemplo, tiene un indudable valor matemático, aparte de toda aplicación a la Física). En este mundo puramente simbólico, puramente matemático, el científico se mueve en sus creaciones con toda libertad. Únicamente ha de respetar los principios fundamentales de la lógica; en el desarrollo de las teorías que expresan las relaciones diversas entre los símbolos postulados y definidos por el hombre de ciencia, no debe presentarse ninguna contradicción. Así vemos—atendiendo únicamente a ese principio—a las ciencias matemáticas apartarse cada vez más y más del mundo físico y de su intuición, constituyéndose en un plano aparte, de pura simbolización, donde son en absoluto exactas e inatacables.

A ese plano superior completamente independiente, a ese universo lógico de los símbolos matemáticos, va el físico a buscar los elementos ideales que necesita para establecer su correspondencia biunívoca con el mundo real. Podría decirse, que ese universo de los símbolos está, respecto al universo físico, en la misma relación que una *posibilidad ideal* a una *existencia real*.

Consideremos, por ejemplo, la relación que existe entre una figura de la Geometría y una figura análoga en el espacio físico. Hace cien años, nadie se hubiera atrevido a dudar de la identidad esencial entre ambas figuras geométricas. ¿Cómo podría haber, si no, una Geometría y un espacio? Así pensaba el mismo Kant. Pero ahora, el concepto de la Geometría se ha aclarado y precisado. Muchas, infinitas geometrías *ideales*, puramente lógicas, son posibles: las geometrías euclídeas de n dimensiones ($n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, \dots$), las geometrías no euclídeas, las geometrías simplemente afines, las geometrías métricas de Riemann, etc. ¿Cuál de ellas es la *verdadera* de nuestro espacio físico? Un geómetra moderno nos dirá, y con razón, que esa pregunta no tiene sentido. Tan sólo se le puede preguntar: ¿cuál es la geometría que *mejor se adapta* a nuestro espacio físico? Es decir: ¿Cuál es la geometría que mejor puede utilizarse para establecer una correspondencia biunívoca con nuestro espacio físico? Y entonces es a la experiencia a la que le corresponde únicamente responder. Esta experiencia—recuérdese la trascendental observación de los rayos estelares próximos al sol en el eclipse de 1919—quizá venga a decir que nuestro espacio real es un espacio con propiedades métricas variables, según el potencial de la gravitación en el punto considerado. Tal es, en efecto, el resultado hallado por Einstein en su teoría de la relatividad, y que parece haber sido confirmado por la observación antes indicada y por otras consecuencias comprobadas de la teoría.

Volviendo a las consideraciones anteriores sobre el

método de simbolización en las ciencias físicas, podemos resumir cuanto se ha indicado en la siguiente forma:

«Con toda independencia del mundo físico, y atendiendo sólo a las leyes formales de la lógica, el hombre de ciencia matemático crea un universo de símbolos abstractos y estudia las relaciones exactas que se establecen entre esos símbolos como consecuencia de su definición y de los axiomas o postulados admitidos. A ese universo racional y matemático acude posteriormente—en orden lógico, no siempre en orden temporal—el físico para buscar los símbolos que le permitan establecer, *del modo más conveniente posible*, la correspondencia biunívoca que necesita entre los elementos del mundo real y los elementos del mundo ideal que van a constituir su ciencia física. Esta ciencia física consistirá también en relaciones racionales, matemáticas, entre puros símbolos. Pero, a diferencia de las ciencias únicamente matemáticas, aquí ha de existir ya un sustentáculo real tras de cada simbolización y un hecho natural tras de cada relación matemática.»

Las leyes científicas.

Hasta hace poco más de medio siglo no se planteó seriamente el problema crítico del verdadero valor y significación de las leyes físicas, antes llamadas preferentemente «leyes naturales».

Siguiendo la tradición racionalista de los hombres de ciencia del siglo XVIII, se venía considerando a dichas leyes como una manifestación de la naturaleza íntima del universo, como las normas racionales prepensadas en la mente divina, que presidían a su desarrollo. En la Naturaleza *existían* esas leyes, y al sabio sólo le estaba dado el encontrarlas y el expresarlas. Y cuanto más sencilla y simbolizable matemáticamente fuera esa expresión, más cerca podía considerarse el sabio de haber resuelto el problema, descubriendo a la Naturaleza su secreto. Si nuestras «leyes naturales» tenían las más de las veces una simple interpretación matemática, era porque en la máxima sabiduría del Demiurgo esa matemática, sublimemente perfecta, había existido en los comienzos de las cosas, para darles racional fundamento. «Cuando Dios calcula, el mundo se crea»—decía Leibnitz.

Este era el espíritu que, más o menos veladamente expuesto, existía en los hombres científicos anteriores a la segunda mitad del pasado siglo. Alentados por él se lanzaban al estudio del mundo exterior, y cuando hallaban una ley en él, era ello considerado estrictamente como un *descubrimiento*.

«La ley natural es la expresión exacta del modo de suceder, universal y eternamente, un determinado fenómeno de la Naturaleza. Es la aprehensión por el sabio de un íntimo aspecto parcial de su racional desarrollo.» Así hubiera definido su concepto de ley científica un hombre de ciencia de entonces.

¿Es así también como los de hoy en día miran al universo? No. Separando los investigadores de los dos siglos, una verdadera revolución científica ha tenido lugar. El pensamiento filosófico, apartándose de abstrusas preocupaciones metafísicas, volvió un día sus ojos a la Ciencia para examinar su fundamento

y su significación. Entonces nació una filosofía científica, una filosofía de las leyes naturales, que lo es al mismo tiempo del alcance y limitaciones de nuestra ciencia.

De esa detenidísima labor de crítica de medio siglo ha surgido una nueva significación de las leyes científicas; un nuevo espíritu científico, más empírico y positivo y, al mismo tiempo, más matemático que nunca, ha nacido al calor de este movimiento filosófico. ¿Cuál es este moderno concepto de la ley científica? Intentemos explicárnoslo, sorprendiendo, para ello, con la imaginación, a un investigador en su trabajo.

Sea, por ejemplo, un físico estudiando la serie espectral del H, conocida con el nombre de «serie de Balmer». Este físico determinará por la experimentación la frecuencia ν correspondiente a cada una de las rayas de la serie que está estudiando. Así obtendrá una serie de números, que luego tratará de *simbolizar matemáticamente*, haciéndolos proceder de una simple fórmula matemática, de la que sean valores particulares. De este modo, encontrará la relación siguiente, satisfaciendo las condiciones requeridas:

$$\nu = k \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{p^2} \right) \quad p = 3 \cdot 4 \cdot 5 \dots \infty$$

Dando valores a p en esta expresión, deducirá el investigador las frecuencias ν de las sucesivas rayas que antes ha encontrado por la experimentación. ¿Nos dirá por eso que ha descubierto una nueva ley natural, lo que Montesquieu hubiera llamado una «relación necesaria derivada de la naturaleza de las cosas»? No, ciertamente. Más modesto y más acertado, sólo dirá que ha hallado una expresión matemática que da con suficiente aproximación las frecuencias de la serie espectral del H considerada. Todo aquel que desee conocer la frecuencia de una cierta raya de la serie de Balmer, puede calcularla con bastante precisión empleando la fórmula matemática indicada. Esta fórmula es, en el más amplio sentido de la palabra, *una regla práctica*. En un lenguaje matemático, *absolutamente convencional*, nos da la receta más sencilla que podemos aplicar en casos análogos.

Este es todo el alcance y valor de la conocida fórmula de Balmer. El mismo valor y significación tienen el sin fin de fórmulas científicas que constantemente manejan, tanto el investigador como el ingeniero. No otra cosa representan, en última instancia, cuantas leyes científicas se establecen, que dan en forma matemática una relación entre las variables que se ha hecho corresponder a los elementos de un fenómeno natural.

En el mundo físico acontece un hecho determinado, un fenómeno de cierto orden. El hombre de ciencia se acerca entonces a él, estudia sus elementos, los simboliza y da medida, ve su influencia sobre el fenómeno total, y así alcanza el hecho científico con las características antes reseñadas. Luego somete a la experimentación, es decir a la repetición reflexiva, el fenómeno estudiado; obtiene entonces una serie de valores simultáneos de cuantas variables intervienen en el hecho en cuestión. Va después a su ideal universo de los símbolos, donde innumerables combinaciones matemáticas esperan para dar forma a sus

hallazgos empíricos, y allí intenta el meter, del modo más sencillo y conveniente posible, sus datos numéricos en el molde de una expresión matemática. Las series de valores simultáneos de las variables del fenómeno, que ha suministrado la experimentación, se convierten entonces en una relación matemática entre esas variables, relación que es válida ya para todo valor intermedio de éstas, pero siempre dentro de los límites que alcanzó la experimentación. Así se obtiene una fórmula científica aplicable a la previsión del fenómeno de que se trate. Traducida al lenguaje vulgar, esta fórmula será, si así quiere llamársela, una *ley científica de aplicación*.

Pero no se limita a esto la labor del hombre de ciencia. Pues, ya encontrada una provisión suficiente de hechos de experiencia, junto con sus traducciones matemáticas, para satisfacer su afán de sencillez y generalidad, intentará el hallar—ya haciendo hipótesis sobre la naturaleza física del fenómeno en cuestión, o simplemente elaborando las primeras fórmulas obtenidas—una *teoría general* de simbolización matemática que englobe los resultados parciales de la primera simbolización, haciéndolos aparecer como simples consecuencias de unos cuantos principios directores. Todas las leyes científicas particulares fluyen entonces como consecuencias deductivas de una teoría matemática, forjada en ese universo de los entes racionales y de los puros símbolos, en el que tan a gusto se mueve el científico. Por ejemplo, la teoría atómica de Bohr, en el fondo exclusivamente matemática, permite deducir de ella la fórmula de Balmer antes señalada y de procedencia únicamente empírica.

Si esa generalización se consigue, se tendrá una *teoría física*. En ella aparecerán como fundamentales unas cuantas expresiones matemáticas de carácter abstracto, alejadas generalmente de la realidad, pero susceptibles de llegar a ella por desarrollos matemáticos especiales en cada caso de aplicación. Estas expresiones matemáticas constituyen, si se las quiere denominar así, las *leyes físicas de carácter más general*.

Este es el proceso, el camino seguido en la elaboración de las leyes físicas. En cuanto a la significación de éstas, ya la hemos visto por todo lo anterior.

Las leyes físicas son recetas matemáticas que, ya directamente o a través de los desarrollos de una teoría, nos dan simbolizaciones en un lenguaje convencional, propias para ser aplicadas en la práctica dentro de los límites que alcanzó la experimentación de que se dedujeron. O, dicho de otro modo: Las llamadas leyes científicas físicas son el ropaje simbólico con el que vestimos los hechos de experiencia, para poder llegar a ellos, preveyéndoles, con el menor trabajo mental.

Dichas leyes científicas no pueden de ningún modo considerarse como tales leyes naturales, en el sentido de «relaciones necesarias que se derivan de la naturaleza de las cosas» y que nos revelan su íntimo carácter racional. La Naturaleza da solamente hechos, en los que la Ciencia determina, simboliza y mide sus elementos. La *expresión* de la relación ideal entre los símbolos de esos elementos es ya cosa puramente

humana y, en el fondo, *convencional*. La ciencia física puede buscar esa expresión en la matemática de un espacio euclídeo, en la matemática de un espacio no euclídeo—así ha procedido Einstein en su teoría de la relatividad—o en donde más convenga por sencillez en cada caso. La Naturaleza nada tiene que ver, por su parte, en estas artificiosas combinaciones. Ya hizo bastante con dar el hecho bruto, el contenido práctico de las complicadas simbolizaciones científicas posteriores. No sería justo atribuir a ella, ni a su fondo íntimo, las cualidades de esos símbolos abstractos, que en el ideal universo matemático del hombre de ciencia son para él un instrumento fecundo y un lenguaje precioso e insustituible.

* * *

Este es, rapidísimamente bosquejado, un esquema del valor humano que hoy se da a los hechos y leyes científicas.

Resumiendo ese esquema, podría decirse:

1.º El hecho científico es la simbolización ideal de una relación empírica, investigada por el sabio con la intención de encontrar la respuesta a una pregunta preformulada; en cierto modo, este hecho es, por ello, una creación del sabio mismo.

2.º La ley científica es la expresión en un lenguaje matemático convencional, fácil de llevar a la práctica, de las relaciones que constituyen el hecho científico.

En el primitivo sentido de la ciencia física, el sabio descubría a la Naturaleza sus leyes. Según el pensamiento actual, más positivo y más humano, el investigador se mueve entre dos creaciones suyas: la del hecho y la de la fórmula matemática que lo expresa. Al profundizar en ambas creaciones, la ciencia actual se ve precisada a profundizar a la vez su empirismo y su racionalidad. El hecho empírico se estudia cada vez más preciso y delicado, abarcando nuevas y más recónditas realidades. La fórmula matemática se establece día tras día más extensa y rigurosa; nuevos símbolos y nuevas generalizaciones son precisas para poder hacer entrar en ellos los novísimos hechos de experiencia que no caben en los antiguos cuadros. Antes bastaba con el clásico análisis y el viejo espacio euclídeo. Ahora hacen falta las ecuaciones integrales, la representación conforme, el cálculo diferencial absoluto, las geometrías no euclídeas, las multiplicidades de más de tres dimensiones, etc.

Conforme el hecho científico se precisa y se extiende, su traducción exige un desarrollo paralelo en el instrumento matemático que lo ha de manejar, en el lenguaje simbólico que lo ha de dar forma. Y así asistimos hoy en día a ese hermoso crecimiento simultáneo del empirismo y de la racionalidad científica, reaccionando a cada paso uno sobre otro, y ofreciendo el más atrayente espectáculo de un ilimitado proceso, en el que todo es tan humano, ¡tan profundamente humano!

P. G. LUCÍA
Ingeniero de Caminos.

Madrid, enero 1923.