EL METODO EXPERIMENTAL Y LA EVOLUCION DE LA MEDIDA DEL ESPACIO Y DEL TIEMPO

ALBERTO BORDA TANCO

Ex-Rector de la Facultad de Matemáticas e Ingeniería de la Universidad Nacional—Bogotá.

Valor de la Física.—En la historia del pensamiento humano la Física ocupa un puesto eminentísimo y parece estar destinada a conservarlo si se considera la influencia que ha ejercido y ejerce en el desarrollo de muchas ciencias, y la importancia práctica y filosófica de sus resultados. En estos últimos años se ha extendido y desarrollado con tánta rapidez, por las investigaciones y experimentos de no muy grande alcance, pero en realidad de importancia dominadora, que ha provocado un sentimiento de admiración y maravilla.

Se trata de la Física pura, que no se detiene en las aplicaciones prácticas ni busca las ventajas materiales, que pueden obtenerse para los inventores, sino que se propone la noble tarea de establecer las grandes leyes que regulan los fenómenos del mundo material y dar de ellas explicaciones aceptables: me refiero a aquella ciencia que merece el nombre de *Filosofía natural* con que se ha conocido durante mucho tiempo, especialmente en Inglaterra.

A medida que los confines del cosmos se van alejando, disminuye la posición del hombre en el universo. En el alba de la civilización pensaba ser inmóvil contemplador de un espectáculo admirable creado para su deleite; hoy nota que es arrastrado por los mundos hacia destinos desconocidos. Pero esta fatal absorción en un mundo más vasto no lo ha desalentado en la conquista de la verdad. Semejante a los grandes artistas de la edad media, que construyeron templos grandiosos destinados a contener un pueblo, en donde no quedaba huella de sus nombres, el hombre va elevando un inmenso teatro en el cual sólo representa un papel modestísimo.

El contraste entre la limitación de nuestra inteligencia y la grandiosidad de la obra que va desarrollando, da lugar a dudas sobre la solidez del edificio. Para disiparlas no basta el examen del estado de nuestros conocimientos en determinado instante, sino que es necesario considerar la evolución que la ciencia ha sufrido y las aspiraciones que la solicitan hoy. La ciencia, como la sociedad, como el lenguaje, se asemeja a un organismo vivo; la conoce mal quien sólo capta un momento fugaz o quien la suprime de la vida y se contenta con estudiar su anatomía.

Se ha sostenido en los últimos años que la ciencia no es, ni puede ser, sino un conjunto de reglas prácticas. Talvez fue así en sus primeros albores, en las épocas en que la cultura era despreciada. Pero hoy que el ideal científico ha subido a alturas mayores, el interés por las cuestiones puramente teóricas ha prevalecido sobre las satisfacciones inmediatas que puede proporcionar la práctica. El espíritu científico es atraído por el encanto del misterio que envuelve aún tánta parte del universo; el interés práctico es más bien un freno que un estímulo, y lleva al examen de cuestiones que, si no fuera por las necesidades sociales, se dejarían de lado. Nadie desconoce las ventajas que ha procurado a la navegación la Astronomía; pero, ¿quién se atrevería a afirmar que sólo con ese fin se han dedicado los sabios al estudio de los astros? La ciencia, se dice, es una función subjetiva, es la expresión del juicio que el individuo formula sobre el universo y sus leyes. En realidad el desarrollo de la ciencia ha disminuído su carácter subjetivo, cuando eran pocos sus cultivadores. El progreso científico está acompañado por el consentimiento cada vez más amplio, que se va estableciendo entre sus varios cultivadores; y una teoría no adquiere el pleno derecho a la vida, mientras no sea aceptada por todos aquellos que están en capacidad de juzgarla, y decae cuando falta este consentimiento. La aspiración a este reconocimiento universal de la ciencia es tan fuerte en nosotros, que, si un día, para hacer una suposición, pudiéramos ponernos en relación con seres vivientes en otros mundos y los halláramos en posesión de una interpretación del universo, diversa de la nuéstra, lejos de calmarnos en las discusiones, nos esforzaríamos en borrarlas, aun con sacrificio de nuestras opiniones, como si la ciencia exigiera el consentimiento universal.

La aspiración a la investigación desinteresada de la verdad, la necesidad de hallar en el organismo científico un acuerdo entre las varias aplica-

ciones subjetivas del universo forman parte de los ideales que dan vida al movimiento de la ciencia y sostienen a quienes la cultivan en su camino.

No se pueden suprimir estos ideales ni separar la ciencia del ideal que la inspira. Si esa divina llama se apagara algún día totalmente en el hombre y todos los productos del espíritu humano perdieran su soplo animador, entre las ruinas acumuladas, la ciencia sería la que más perdería en la inmensa catástrofe.

Los factores de la vida intelectual.

Guillermo Gladstone no satisfecho con sus grandes éxitos oratorios, por lo que siempre servirá de ejemplo, escribió un artículo para demostrar con su potente estilo, cómo nuestra civilización era el producto de dos factores: la civilización greco-romana y el cristianismo. Pero alguien le replicó, diciendo que los factores de nuestra vida intelectual eran tres, porque a los dos indicados por el grande hombre de Estado había que agregar otro: el método experimental, que ha suministrado una potentísima ayuda a muchas ciencias, imprimiendo una dirección nueva a todo el pensamiento científico.

Pero, ¿en qué consiste el método experimental?

Si usarlo es difícil y exige constancia y continuidad en el estudio y hábito en el laboratorio, no es difícil formarse una idea. Bacon, que tuvo el mérito de resumir la teoría, distingue en su evolución tres fases diferentes, que aún existen y han tenido un desarrollo diferente en los varios capítulos de las ciencias.

En la primera fase la investigación toma carácter netamente experimental. Sucede con bastante frecuencia que se confunde la observación con la experimentación.

La Astronomía suministra el más bello ejemplo de una ciencia de observación. El astrónomo se halla sobre esta pequeña tierra y toma parte en el triple movimiento de ella: de rotación alrededor de su eje, de revolución alrededor del sol y de traslación en el espacio. Estos movimientos no los puede modificar; pero provisto de anteojos y de algunos instrumentos de precisión, observa, mide y calcula. Así ha podido determinar el movimiento de los planetas y de los satélites, ha penetrado con la mirada en la vida de los demás astros y ha creado la ciencia más adelantada que exista.

Pero si la Física hubiera querido seguir el ejemplo de la Astronomía se hallaría aún en la infancia, como la Meteorología, condenada en gran parte a ser sólo ciencia de observación. Para progresar la Física ha dado un paso más allá, produciendo artificialmente los fenómenos que pretenden estudiar y produciéndolos en condiciones matemáticamente bien definidas. En efecto, en la electricidad, por ejemplo, la naturaleza nos ofrece muy poco: el rayo, fenómeno terrible y algún otro insignificante como los fuegos de San Telmo y las descargas eléctricas de algunos peces. La simple observación nos hubiera servido muy poco, pero la experiencia ha sido resorte potente que ha centuplicado nuestros conocimientos. Para persuadirnos basta tomar un tratado de electrología y ver la pequeña parte que hay de estudio de los fenómenos de sola observación; basta, en fin, recordar que la experiencia nos ha suministrado el medio de descubrir la corriente eléctrica, con sus grandiosas y sorprendentes propiedades desconocidas por varios siglos.

En el segundo período del método experimental se procede a efectuar medidas de precisión para deducir las leyes matemáticas o empíricas. En el tercer período se presenta un cambio profundo en la conducción de las investigaciones. Se formula una hipótesis sobre la naturaleza y causas de los fenómenos estudiados y se trata de deducir con rigor matemático las consecuencias. El estudio, de inductivo que era, se convierte en deductivo. Si las consecuencias o deducciones están de acuerdo con los hechos y las leyes, la hipótesis adquiere valor. Pero un solo hecho, que se muestre netamente contrario a las consecuencias de la teoría obliga a abandonarla o por lo menos a modificarla. Resulta entonces un doble movimiento, de inducción y de deducción, para establecer una teoría nueva o modificarla. Y es natural que sea así, porque la teoría es el producto de la fantasía humana, y por tanto mudable, mientras que los hechos y las leyes naturales están fuéra de nosotros y no dependen de nuestro pensamiento.

Orígenes del método experimental.

Los orígenes del método experimental son antiguos: Tales de Mileto, uno de los siete sabios de Grecia, que vivió seiscientos años antes de la éra cristiana, reconoció en un mineral hallado cerca de la ciudad de Magnesia, la propiedad de atraer la limadura de hierro, y en el ámbar amarillo la de atraer los corpúsculos livianos.

Pitágoras, que vivió en ese tiempo (580 a 532 A. C.), descubrió la ley de las relaciones simples en las vibraciones de los sonidos armónicos, ley que es hoy mismo la clave de la bóveda en la teoría moderna del sonido. Esta teoría le sirvió para establecer que el número y la medida eran el fundamento de la armonía y de la euritmia en la naturaleza como en el orden moral.

En torno de Arquimedes, en fin, y de su grandiosa obra, se han formado varias leyendas y resulta difícil, sobre la base de documentos inseguros, conocer sus profundos pensamientos. Pero cualquiera que sea la verdadera interpretación, es lo cierto que su obra fue grande. Cuando examinaba si la corona del rey era de oro puro o de una aleación de oro y plata, llevaba a cabo una operación de verdadero método experimental. El principio que lleva su nombre es todavía fundamental en la hidrostática. Sus investigaciones en Optica y sobre la palanca son de la mayor importancia.

Pero estos espléndidos ejemplos de Tales, de Pitágoras y de Arquimedes, permanecieron aislados y no tuvieron una influencia apreciable sobre

el desarrollo de las ideas de entonces. El pensamiento griego era esencialmente deductivo, jamás inductivo; aceptaba los datos de la experiencia solo en cuanto se prestaban a la especulación y a las ideas establecidas *a priori*. Prevalecía la lógica de Sócrates, de Platón y de Aristóteles.

Lo mismo sucedía en la edad media, que obró exclusivamente bajo la influencia de las ideas de Aristóteles y de Bacon, quien reconoció toda la importancia de los hechos bien estudiados, aun cuando sus ideas permanecieron sometidas a los preceptos aristotélicos, únicos que dominaban.

El método experimental nació en Grecia y volvió a florecer en Inglaterra, por obra de Bacon.

La historia del método experimental es larga y no se puede exponer en un breve artículo. El despertar experimental fue primero en el orden moral, debido a la Astronomía, es decir, a una ciencia de observación. El primer empuje lo dio Copérnico. La idea de que la tierra es el centro del universo fue fuertemente atacada por Galileo, quien defendió la teoría copernicana.

Pero el método experimental propiamente dicho resurgió con Leonardo de Vinci (1452-1519) con las bellas investigaciones sobre el azul del cielo, llenas de conceptos experimentales. La obra de Galileo fue grande y profunda en hechos y palabras contra los peripatéticos. También Torricelli, discípulo de Galileo, colaboró en esta obra. Las experiencias de este gran físico sobre la presión atmosférica y sobre el flujo de los líquidos, se repiten aún en las escuelas en la misma forma en que él las ideó. Es, pues, Torricelli uno de los genuinos representantes de la primera época experimental.

Por el mismo tiempo, Descartes descubrió las leyes de la refracción de la luz, Otto de Guericke la máquina neumática; y con Newton y Huyghens la escuela experimental tuvo su pleno desarrollo, que nada pudo detener.

El método experimental y las ciencias morales.

Ninguna de las ciencias morales puede decirse experimental; algunas son ciencias de observación. Recientemente se ha dicho que la historia no ha sido nunca maestra de los pueblos. Y se comprende por qué algunas analogías no constituyen aquella identidad de condición que permita un juicio seguro. Pero en el estudio exacto y riguroso de las fuentes, la historia se ha vuelto una ciencia de observación. El historiador que sobre los documentos existentes examina los hechos acaecidos y las causas que los provocaron, se asemeja al zoólogo que observa los animales, sus órganos y su funcionamiento; se asemeja también al astrónomo que examina el cielo. No se puede hablar de investigaciones experimentales, tratándose de tesis históricas preestablecidas. Pero con el método experimental han surgido tantas ideas y tantas necesidades intelectuales, que todas las ciencias deben aceptarlo. Existe una diferencia fundamental entre el razonamiento fundado sobre los preceptos de Aristóteles y el que consiente el método experimental. El primero enseña cómo de las premisas se sacan las conclusiones, y cuando éstas se han sacado, el procedimiento formal ha terminado y las conclusiones se aceptan. Con el método experimental se formula una hipótesis o un principio y se deducen las conclusiones. Pero se comparan luégo éstas con los resultados directos de la experiencia; si existe concordancia, la teoría es correcta; de lo contrario, un solo hecho basta para destruírla. Luego se procede siempre por un trabajo de inducciones y deducciones sucesivas, hasta que la teoría y la experiencia se ponen de acuerdo.

En este procedimiento, inductivo y deductivo, el experimentador se vale mucho de la matemática, que es también una ciencia formal; no crea, sino deduce en forma no sólo cualitativa, sino también cuantitativa. El cálculo es como un molino que transforma el trigo en harina, pero sin poner nada de su parte; si el trigo es bueno y abundante, la harina también es buena y abundante. Si, por el contrario, el trigo es malo y deficiente, también es mala la harina.

La historia de la ciencia está llena de ejemplos sobre el particular. Citaré dos, de los más importantes. Todos sabemos cómo Newton dedujo la gran ley de la atracción universal de las tres leyes de Kepler.

Apenas la halló examinó un caso especial, el de la atracción ejercida por la tierra sobre la luna, y para esto tenía un control directo. Pero entonces existían datos inciertos sobre las dimensiones de la tierra y sobre la distancia a la luna; el cálculo de Newton tuvo que conducir a un resultado numérico inexacto. Después, notando cierto desacuerdo, Newton hizo a un lado su teoría y no la publicó. Más tarde, cuando se hicieron en Francia nuevas medidas por obra de Picard, Newton volvió a examinar su teoría y hallándola en pleno acuerdo con los nuevos datos, se decidió a publicarla con 17 años de retardo. El gran descubrimiento de la atracción universal, esta clave de la bóveda de la Física y de la Astronomía, permaneció, pues, suspendida por largos años, y sin las medidas de Picard, Newton habría renunciado para siempre a publicarla.

Y hoy mismo, no obstante el extraordinario éxito que ha tenido, no estamos seguros —en opinión de algunos pensadores— si podrá conservarse intacta. Existen muchos físicos que niegan la acción a distancia. Pero sin duda, el experimento y la observación decidirán en definitiva.

Otro ejemplo ofrece la teoría de la luz.

Para explicar los innumerables fenómenos producidos por este agente, Newton y Huyghens idearon las dos teorías de la emanación o emisión y de las ondulaciones. Durante el siglo diez y ocho y parte del diez y nueve, duró entre las dos teorías una lucha, en la que tomaron parte los talentos más grandes de la época.

La teoría de la emanación lleva como nece-

saria consecuencia, que un rayo de luz, pasando del aire a un medio más denso, como al agua, debe aumentar la velocidad: por el contrario con la teoría de las ondulaciones la velocidad en el agua debe disminuír. Foucault midió directamente la velocidad en el aire y en el agua; halló que la velocidad en el agua disminuía y se decidió por la teoría de las ondulaciones. Pero el trabajo teórico no ha cesado todavía. La teoría de la emanación tiende a resucitar, en casos especiales.

Se podrían citar muchos otros ejemplos; de donde resulta la absoluta necesidad de considerar las teorías, los principios y las hipótesis como obra exclusiva de la fantasía, no así el experimento que contempla hechos, leyes, fenómenos que están fuéra de nosotros y son independientes de nuestra voluntad. Así, pues, se ha producido un verdadero derrumbamiento de los preceptos aristotélicos. También Aristóteles se ocupaba de los pocos fenómenos de la naturaleza que conocía. Pero lo que consideraba como secundario es ahora lo principal y los conceptos que eran para él principales son ya secundarios. Lo que importa no son las consecuencias sino las premisas. Dadas éstas, todos saben razonar lógicamente; pero si el razonamiento no está de acuerdo con lo que vemos, con lo que sentimos, con lo que queremos, hay que modificar las premisas, para hallar la armonía de la ciencia y del pensamiento social.

El método experimental existe desde hace unos tres siglos y, sin embargo, ha producido con su fuerza interior y con sus sanos criterios, una obra estupenda: ha creado nuevas ciencias, otras las ha llevado a un alto grado de perfección. También se ha aprovechado de ella la vida social por las grandes aplicaciones que han cambiado las bases de nuestra existencia.

Los rápidos progresos de las ciencias experimentales datan del día en que, abandonadas las varias tentativas para penetrar la naturaleza de las cosas, se trata de medir las magnitudes que intervienen en los fenómenos naturales y de establecer las leyes que rigen sus variaciones.

El sabio al ejecutar una medida no acepta sin embargo los resultados groseros suministrados por los sentidos; con la elección de los instrumentos, con las cautelas que usa, con las correcciones que aplica, obedece a menudo inconscientemente, a procedimientos adoptados. Si queremos darnos cuenta de las hipótesis que intervienen experimentalmente, no tenemos necesidad ciertamente de esperar la solución metafísica que se relaciona con el espacio, el tiempo o la fuerza, pero no podemos desinteresarnos del problema psicológico que indaga cómo esos conceptos fundamentales se han formado en la mente humana, cómo se han afinado hasta penetrar en el organismo científico, y cómo, al progresar nuestros conocimientos, se han ido modificando.

La existencia de objetos que conservan inalterada la forma y la magnitud en diversas posiciones y en tiempos diversos, fue conocida por el hombre desde la más remota antigüedad. Las primeras apreciaciones fueron hechas probablemente comparando los objetos con el cuerpo humano, considerado como invariable dentro de ciertos límites que entonces eran suficientes.

Nació entonces la idea de medir las magnitudes lineales con los miembros que más se prestaban. "El hombre es la medida de todas las cosas", decía Pitágoras en una sentencia que tiene un sentido mucho más profundo, pero que revela su origen. En todas partes encontramos como unidad de medida, el brazo, la cuarta, el pie, nombres tomados del cuerpo humano.

En las épocas primitivas se buscaba solamente un medio cómodo, al alcance de todos, para avaluar una longitud. Pero con el progreso de la civilización, para satisfacer las exigencias de la agrimensura y del arte arquitectónico, se sintió la necesidad de tener una unidad de medida menos cambiable y menos incierta. Intervino entonces el Estado, que estableció por medio de una convención, los primeros patrones métricos y los custodió en los templos y en los edificios públicos.

Veinte siglos antes de J. C., Egipto poseía un sistema legal de medidas, del cual derivan, según la opinión de muchos historiadores, los sistemas usados por los pueblos antiguos, mediterráneos y babilónicos. El poderío del Imperio romano difundió sobre un extenso territorio la medida fundamental del pueblo latino, el *pie romano*.

Pero con la caída del Imperio de Occidente la uniformidad desaparece y durante un gran período que comprende la edad media y la época moderna, se asiste al rápido cambio de innumerables medidas locales, que crean graves obstáculos a los cambios entre los pueblos. De todas partes se pedía con insistencia una reforma, que con la adopción de una unidad que tuviera carácter internacional, introdujera la uniformidad donde reinaba el desorden. A estas razones prácticas se agregaron otras de parte de los cultivadores de la ciencia. La precisión que se exigía en las medidas imponía que el patrón de la nueva medida se construyera con sumo cuidado, lo que hasta entonces no se hacía, y fuera protegida en los límites de lo posible, de las alteraciones producidas por el ambiente.

Pero a las causas perturbadoras conocidas, otras desconocidas podían surgir en el tiempo. Se deseaba, pues, que la nueva unidad tuviera una comprobación en alguna magnitud natural, considerada invariable, que pudiera servir para verificarla o para reconstruír el modelo, si se alteraba o se destruía.

Para satisfacer estas múltiples exigencias se presentaba entonces natural la idea de tomar la unidad de medida internacional del globo. Ya en la segunda mitad del siglo XVII, dos longitudes, ligadas ambas a la tierra, se disputaban el honor de ser tomadas como patrones del nuevo sistema: la longitud del péndulo que bate los segundos en

una latitud determinada y una parte alícuota del arco de meridiano.

Cuando la Asamblea Nacional de Francia en 1790 fue invitada a ocuparse del asunto, la longitud del péndulo parecía prevalecer, por haberse mostrado favorables a esta elección Inglaterra y los Estados Unidos de América.

Si hubiera sido acogida habría obtenido desde un principio el consentimiento internacional, que sólo en un siglo pudo conseguir con mucho trabajo. Pero la Comisión científica, que determinó la nueva unidad, manifestó preferencia por la medida ligada al arco de meridiano, que no presenta el inconveniente del péndulo de depender de elementos extraños al concepto de longitud, cuales son el tiempo y la gravedad.

Con la adopción por parte de la Asamblea Nacional de las propuestas de la Comisión, el sistema métrico estaba ya oficialmente establecido desde marzo de 1791. Sinembargo ocho años transcurrieron antes de que fuera prácticamente usado. Son conocidas las grandes dificultades para construír los patrones de las unidades de medida que todos usamos. Es, pues, un sentimiento de grande admiración el que se siente por los héroes, Delambre y Méchain especialmente, que sospechosos a las poblaciones ignorantes y supersticiosas en donde trabajaban o actuaban y a los los gobiernos jacobinos del período más tremendo de la Revolución, desafían inmensas penalidades y graves peligros, sostenidos por la fe en la ciencia y en los destinos de la humanidad. Así se cumplió una de las mayores empresas que la ciencia haya abordado. El metro, como se sabe, está ligado al meridiano terrestre y a la longitud del péndulo que bate los segundos, de tal manera que (para emplear el lenguaje poético de Arago) cuando por un terremoto o un espantoso cataclismo se produjera la ruina de nuestro planeta y se destruyeran los patrones de medida conservados en los archivos, una experiencia hecha con el péndulo reproduciría el valor del metro y restablecería el sistema métrico en su invariabilidad.

Pero al entusiasmo sucede pronto la crítica. El metro no es exactamente la diezmillonésima parte del cuadrante de meridiano (aunque difiere muy poco) ni una magnitud que corresponda de una manera precisa a esta definición podrá construirse jamás por la inevitable imperfección de las medidas, por la diversidad de los meridianos, por la misma mudabilidad de éstos, dependiente de la contracción del globo terrestre.

Previeron los fundadores del sistema métrico estas objeciones, que, si no atacan el valor práctico, sí destruyen el fundamento teórico? No es probable, puesto que el espíritu crítico, que es necesario para la consolidación de la ciencia, paraliza la acción, y es impotente para construír esos admirables edificios que son obras de fe.

No sólo se proclama que el metro es una unidad convencional, sino que se afirma solemnemente ser imposible que en adelante el mundo científico se deje atraer por la investigación de medidas absolutas o naturales.

Como nuestro planeta está sometido a irregularidades y variaciones que no permiten deducir de aquél una medida inmutable, puesto que un patrón convencional de metro podría a través de los siglos sufrir alteraciones no previstas, ¿no convendrá, pregunta Maxwell, buscar fuéra de la tierra una unidad universal, fija eternamente, o por lo menos no susceptible a causas perturbadoras que pueden ejercerse sobre el metro? Para este papel Maxwell propone la longitud de onda de una determinada radiación luminosa que se propague en el vacío.

Se sabe que a lo largo del recorrido de un rayo luminoso se verifican variaciones periódicas, que se han comparado a las vibraciones de una cuerda sonora. Dos observadores ideales situados a lo largo del rayo, a la distancia que se llama *longitud de onda,* verían simultáneamente los mismos fenómenos; en cambio a un solo observador el rayo se reproduciría invariable cada vez que hubiera transcurrido un cierto tiempo, llamado *período.* La longitud de onda y el período son inmensamente cortos respecto a los intervalos de espacio y de tiempo a que estamos acostumbrados; no llegan a un milésimo de milímetro.

La longitud de onda ha sido propuesta como patrón métrico y talvez reemplace al metro algún día en su oficio de las medidas lineales. Las unidades de medida corren las mismas contingencias que ciertas divinidades paganas de pueblos volubles; al lado del dios oficial que tiene templos, vive otros dios que adora el vulgo en la sombra.

Ahora, si de la medida del espacio queremos pasar a la medida del tiempo, nos hallamos frente a un problema más elevado y atrayente. La noción de longitudes iguales es tan antigua como el hombre o más que el hombre, puesto que los animales superiores la poseen; los progresos de la metrología han permitido realizar, en forma más precisa, un parangón, cuyo sentido era muy claro desde tiempos remotos.

Pero el concepto de tiempos iguales se ha ido formando y modificando junto con los medios que han permitido ejecutar la comparación, y los medios que tengan algún interés científico pertenecen a la época histórica. No es que la noción de tiempo sea menos primitiva que la de espacio, pues la simple sucesión de nuestros pensamientos, de nuestros estados de conciencia, basta para suministrarnos aquélla y no ésta. Pero sólo nace el concepto de *antes* y *después*. Caemos en cuenta del correr del tiempo sin poderlo medir. Nuestra memoria, sin otros medios, no tiene manera para comparar la duración de dos acontecimientos en épocas diversas.

Una medida antropomórfica, o mejor dicho, fisiológica del tiempo, se podría sacar de fenó-

menos periódicos de nuestro organismo, por ejemplo, de las pulsaciones de las arterias. Se cuenta que Galileo se servía de este medio para apreciar el isocronismo de las oscilaciones de la lámpara de la catedral de Pisa. Pero estos métodos poco prácticos nunca tuvieron suerte.

En realidad la naturaleza, con el sucederse de los días y las noches, suministra una medida del tiempo. Pero, como se sabe, el día civil o sea el intervalo entre una media noche y la sucesiva, no fue tomado como unidad de tiempo en la infancia de la humanidad. La base de la medida nos la da el día solar, o día natural, que separa la salida del sol de su ocaso. Y cuando se presenta la necesidad de introducir períodos más cortos, es el día de luz que se subdivide en cierto número de horas. Estas horas temporales (como se llamaban) varían naturalmente de amplitud con las estaciones. Pero a la diferencia entre las horas invernales y las de estío, no daban importancia los antiguos y la subdivisión entre horas diurnas y nocturnas fue hecha más tarde.

La exacta evaluación del tiempo es una necesidad de la actual civilización. Ha sido una preocupación desde siglos antes de J. C. valorar el tiempo y por tanto construír aparatos o mecanismos capaces de apreciar el tiempo. Una de las más geniales intuiciones ha sido la de que cierta cantidad de agua o de arena encerrada en una copa, en donde se ha hecho una perforación, emplee en fluír el mismo tiempo hoy que dentro de un siglo, y es una verdad tan evidente, que nadie puede ponerla en duda. No se puede exigir una prueba lógica de esta verdad; a aceptarla nos obligan los resultados de innumerables observaciones hechas en casos análogos desde tiempos remotos. Las observaciones comprenden, además, una clase muy grande de fenómenos y conducen a enunciar una de las leyes más generales de la ciencia, el principio de *causalidad* en su forma cuantitativa: *causas iguales, aplicadas durante tiempos iguales, producen efectos iguales,* cualquiera que sea el lugar y la época en que obran.

El principio de causalidad conduce mediante procedimientos muy variados a medidas mecánicas del tiempo, que están acordes entre sí y con la medida astronómica. La aplicación más antigua de este principio la hallamos en las clepsidras, la más reciente en los cronómetros modernos, que tan preciosos servicios han prestado a la Física, a la Astronomía y a la navegación.

Sin invadir la parte astronómica, importantísima en este asunto, diremos tan sólo pocas palabras al respecto.

Por cuidadosa que sea la construcción de un reloj, por regular que sea la marcha, debe corregirse de vez en cuando. La operación se hace comparando las indicaciones con el tiempo astronómico deducido de la rotación de la tierra. Parece como que a la regularidad del movimiento diurno de la tierra se atribuya una fe absoluta, pero ésta ya no existe para los astrónomos, quienes piensan que la duración del día puede cambiar con los siglos. ¿Por qué? La Mecánica enseña que un cuerpo rígido, que gira alrededor de un eje, sustraído a influencias exteriores, cumple las rotaciones en tiempos iguales. Pero la tierra no es un cuerpo rígido, por la contracción que experimenta debido al enfriamiento que tiende a acelerar el movimiento de rotación; además tiene un freno colosal, que depende de las mareas del océano; son causas éstas, cuyos efectos es difícil valorar.