AC 14 27

En primer lugar, introducción a las ciencias físico-naturales. Nuestra ilustración de hoy lleva por título, Medición. ¿Cuáles son los principales objetivos del presente tema? En esta emisión abordaremos el estudio del marco matemático de representación de la realidad física, la medición.

Su importancia es grande, ya que toda experimentación científica culminará en la obtención de uno o varios datos, números que resumirán todo nuestro conocimiento referente al fenómeno observado. Los cálculos y desarrollos matemáticos, con su belleza y precisión lógica, podrían hacer pensar en su autojustificación, sin otra finalidad ajena a ellos mismos. Sin embargo, este sería un planteamiento propio de una ciencia pura, como la matemática abstracta, pero no el de las ciencias experimentales, como la física, la química, la geología, cuyo material de estudio es la naturaleza, y hallan su objetivo en la interpretación de sus leyes.

En nuestro texto decimos que la observación científica de los fenómenos, tal como la entendemos hoy en día, es eminentemente cuantitativa. La asignación de uno o varios números al resultado de una experiencia es esencial para el carácter objetivo de la misma, permitiendo su comparación o contrastación con otros experimentos efectuados en condiciones análogas o no. Es precisamente la reproducibilidad de experiencias calificadas por su resultado numérico lo que permite el progreso de las ciencias de la naturaleza, al aceptar los investigadores y los técnicos los resultados previamente obtenidos por otros.

Pero, ¿cómo medimos? De muy diversas maneras. Así, si deseamos conocer las dimensiones de una habitación, calculamos el número de pasos que hemos de dar a lo largo y a lo ancho de ella, procedimiento de escasa precisión, pero que en ocasiones basta para percibirnos de su tamaño. Si deseásemos una mayor exactitud, utilizaríamos una cinta métrica, apreciando incluso milímetros.

En el supuesto y lógico de pretender expresar la anchura y largura de la mencionada habitación en diez milésimas de milímetro o micras, deberíamos recurrir a los procedimientos interferométricos propios de la física atómica. En cualquier caso, unas cifras numéricas serían el resultado final de la medición de las longitudes expresadas, resumiendo toda la información espacial aprehendida a través de nuestros sentidos. La medición es la actividad operativa de valoración numérica de las observaciones o experiencias científicas.

El ente objeto de valoración ha de ser observable, en el sentido de poder ser medido, denominándose en este caso magnitud física. La medición de toda magnitud física se efectuará a través de un proceso de comparación con un estándar o patrón de igual naturaleza denominado unidad. Con respecto a este punto, en el texto se introduce el llamado sistema internacional de unidades, o sistema SI, que al parecer es utilizado con casi exclusividad a lo largo de todo el curso.

¿Podría precisarnos un poco más acerca de la naturaleza e interés de este sistema de unidades de medición? Sí. En primer lugar, conviene señalar que antes de efectuar una medición, debemos seleccionar una unidad para cada magnitud o cantidad a medirse. Para propósitos de medición hay magnitudes fundamentales y derivadas, y unidades.

El físico reconoce cuatro magnitudes fundamentales independientes, longitud, masa, tiempo y carga, como ya indicamos en el texto. La longitud es un concepto primario, y es una noción que todos adquirimos naturalmente. Es inútil intentar dar una definición de ella.

De igual manera, lo es el tiempo. La masa y la carga, sin embargo, no son de un carácter tan intuitivo. La masa es un coeficiente característico de cada partícula, que determina su comportamiento cuando interactúa con otras partículas, así como la intensidad de sus interacciones gravitacionales.

Similarmente, la carga es otro coeficiente característico de cada partícula, que determina la intensidad de su interacción electromagnética con otras partículas. Pueden existir otros coeficientes que caractericen otras interacciones entre partículas, pero hasta el momento no han sido identificados. Con muy pocas excepciones, todas las magnitudes usadas hasta ahora en física pueden relacionarse a estas cuatro magnitudes por sus definiciones, expresadas como relaciones matemáticas, involucrando longitud, masa, tiempo y carga.

Las unidades de todas estas magnitudes derivadas son a su vez expresadas en función de las unidades de las cuatro magnitudes fundamentales, mediante estas relaciones de definición. Luego, es necesario solamente estar de acuerdo en las unidades para las cuatro magnitudes fundamentales, a fin de tener un sistema consistente de unidades. Los físicos se han puesto de acuerdo en la undécima Conferencia General sobre Pesos y Medidas, realizada en París en 1960, para usar el sistema de unidades denominado internacional y también MKSC, y este será el utilizado en este curso.

Las iniciales representan el metro, el kilogramo, el segundo y el coulombio. Sus definiciones están dadas en el texto en función de propiedades inamovibles de sistemas cuánticos, o microsistemas, de acuerdo con la terminología que empleamos, así como de procesos en los que participan dichos sistemas. De ahí la constancia universal de estos patrones de medida, idénticos en Madrid que en Tokio, para poner un ejemplo.

Los siguientes constituyen algunos aspectos esenciales del sistema. Primero, el SI es un sistema métrico. Posee cuatro unidades fundamentales, ya mencionadas, y dos de conveniencia, el mol y el grado kelvin.

Segundo, las unidades derivadas se relacionan directamente con las unidades fundamentales. Por ejemplo, la unidad de aceleración es un metro partido por segundo al cuadrado. La unidad de fuerza es el newton, que es la fuerza necesaria para imprimirle a un cuerpo de un kilogramo de masa una aceleración de un metro partido por segundo elevado al cuadrado.

La unidad de energía es el joule, que es el trabajo realizado cuando una fuerza de un newton mueve un cuerpo a lo largo de una distancia de un metro. En el SI se desaprueba el uso de unidades auxiliares. Así, la unidad de presión es un newton por metro elevado a menos dos.

No se utiliza en la atmósfera ni el bar. De manera similar, la caloría no se utiliza. Todas las formas de energía se miden en joules.

Tres, las unidades eléctricas están racionalizadas y coinciden con las tradicionalmente utilizadas por la técnica. Amperio, voltio, faradio, henrio, etc. En el texto aparecen magnitudes físicas de distinto carácter, escalar, vectorial o tensorial, disponiendo para cada una de ellas de un marco de representación matemática distinto.

¿Podría usted aclararnos la necesidad de utilizar estas diferentes magnitudes? Muchas cantidades físicas quedan completamente determinadas por su magnitud, expresada en alguna unidad conveniente. Dichas cantidades se llaman escalares. Por ejemplo, para especificar el volumen de un cuerpo es necesario solamente indicar cuántos metros cúbicos ocupa.

Para conocer una temperatura es suficiente leer un termómetro convenientemente colocado. El tiempo, la masa, la carga y la energía son también cantidades escalares. Otras magnitudes físicas requieren para su completa determinación que se añada una dirección a su magnitud.

Dichas cantidades las llamamos vectores. El caso más sencillo es el desplazamiento. El desplazamiento de un cuerpo se determina por la distancia efectiva que se ha movido y la dirección en la cual se ha desplazado.

Como indicamos en el texto, en el espacio es necesario fijar dos ángulos para determinar una dirección dada, por lo que una magnitud vectorial vendrá en general especificada por el conjunto de tres números reales denominados componentes vectoriales. La velocidad de un cuerpo, su aceleración o la fuerza a que se ha asometido son otros tantos ejemplos de magnitudes vectoriales que iremos encontrando a lo largo del texto. Los vectores se representan gráficamente por segmentos de una línea recta que tienen la misma dirección que el vector, indicada por una flecha, y una longitud proporcional a su magnitud o módulo.

En la escritura, un símbolo en tipo grueso o en tipo delgado con una flecha encima indica un vector, esto es, magnitud más dirección, mientras que el mismo símbolo en tipografía normal o sin flecha encima se refiere al módulo vectorial. Finalmente, existen situaciones en las que no bastan ni la descripción escalar ni la vectorial del fenómeno. Tal sucede, por ejemplo, al estudiar la deformación sufrida por un cuerpo elástico al someterlo a una fuerza dada.

La causa, es decir, la fuerza, es de naturaleza vectorial, pero su efecto no puede caracterizarse por sólo tres componentes, sino que se precisan nueve, en general, al ser las deformaciones distintas según tres direcciones ortogonales entre sí. No debemos asustarnos ante esta situación, nacida simplemente de nuestras necesidades de información acerca de un fenómeno

natural concreto. El conocimiento de la masa de un cuerpo, por ejemplo, requiere una información tres veces más reducida que la necesaria para especificar su velocidad, y nueve veces inferior que la que requeriríamos si deseásemos expresar su comportamiento elástico, pongamos por caso.

Simplemente esto. El presente tema introduce nociones de estadística, tales como teoría de errores, representación gráfica de datos experimentales, y determinación de parámetros estadísticos. ¿Por qué la estadística aparece tan pronto en el estudio de la naturaleza? No parece ilógico dedicar tanta atención al estudio de errores, es decir, de resultados defectuosos, cuando aún no hemos estudiado las diferentes teorías correctas del texto.

¿No es el error algo evitable, o por lo menos de evitación deseable, cuya consideración deberíamos posponer hasta haber alcanzado un cierto conocimiento acerca de las ciencias naturales? Bien, usted me formula en realidad varias preguntas de importancia suma dentro del contexto de la filosofía natural en que nos movemos, y que intentaré responder en su debido orden. En primer lugar, debemos tener muy presente que una visión microscópica, detallista, átomo por átomo, es imposible o inalcanzable. Debido al número tan considerable de partículas involucradas en cualquier acto de medición, debiendo contentarnos con un conocimiento global o estadístico del fenómeno, y determinar valores medios de las distintas magnitudes relevantes al mismo.

Tal sucede con la medición de la temperatura de un local, de la presión de una caldera de vapor, o de la densidad de un combustible. Debemos reconocer el irreductible carácter estadístico o estocástico de nuestro conocimiento de la naturaleza, que como para nosotros es todo lo que podemos aprender acerca de ella, constituye la propia naturaleza, dentro de la visión positivista que caracteriza a una filosofía natural. En segundo lugar, y como consecuencia de lo dicho, debemos advertir que en la naturaleza los fenómenos y los objetos no se reproducen idénticamente a sí mismos.

Existen siempre diferencias más o menos sensibles entre dos realizaciones aparentemente iguales de un mismo proceso. Esta variabilidad en los datos obtenidos puede hacernos dudar de la existencia de un valor verdadero. Tal existencia, sin embargo, la atribuimos en la práctica al resultado que se da con mayor frecuencia, o, más correctamente, al valor medio o media aritmética de los datos recogidos.

Este será para nosotros el verdadero valor, subyacente tras el experimento. Si existe otro, lo desconocemos, y aún más, no podemos conocerlo, por lo que carece de todo sentido para nosotros. Finalmente, digamos que cuando se mide una cantidad física no debe esperarse que el valor obtenido sea exactamente igual al valor verdadero.

Es importante, sin embargo, dar alguna indicación de qué cerca está el resultado obtenido del valor verdadero, es decir, alguna indicación de la exactitud o fiabilidad de las mediciones. Esto se hace incluyendo en el resultado una estimación de su error. Por ejemplo, puede medirse la temperatura de un horno y dar el resultado final como temperatura igual a 256 más menos 2

grados centígrados.

Por esto, se entiende que se cree que dicha temperatura se halla en alguna parte en el interior del intervalo de variación de 254 a 258 grados centígrados. En realidad, la ecuación es una afirmación de probabilidad. No significa que se esté seguro de que el valor esté entre los límites indicados, sino que las mediciones indican que hay cierta probabilidad de que esté ahí.

Concretamente, si la ley de probabilidad a que obedece el fenómeno es del tipo denominado normal, podríamos afirmar que en el 70% de los casos aproximadamente, una medición individual de la temperatura cabrá en el interior del mencionado intervalo, y en el resto de los casos, por supuesto, fuera. Esto, si el error estimado de 2 grados coincide con la llamada desviación tipo del recuento, ya que si, por ejemplo, fuese igual a 3 veces dicha desviación tipo, sólo el 2 por mil de las medidas efectuadas se hallarían en el exterior del mencionado intervalo de 254 a 258 grados centígrados. Acaban de escuchar ustedes una ilustración radiofónica sobre un tema de introducción a las ciencias fisiconaturales.