

AC 14 8

Acaban de escuchar ustedes Matemáticas, tema séptimo, Relaciones de Orden, por el profesor don Joaquín Summers. Les ofrecemos seguidamente Ciencias Físico-Naturales, tema segundo, Medición, por el profesor don José Luis Lorente Guarch. Con la voz del mismo profesor y la de las locutoras Blanca Gala y María Teresa Jiménez.

Control y registro de sonido Antonio Galán. Y la adaptación radiofónica del tercer programa de Radio Nacional de España. ¿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, etc., cuyo material de estudio es la naturaleza y hayan 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.

Bien, profesor, ¿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 diezmilésimas 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. O sea, 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. 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? Bien, en primer lugar, conviene señalar que antes de efectuar una medición, debemos seleccionar una unidad para cada cantidad a medirse. Para propósitos de medición, hay cantidades fundamentales y derivadas, y unidades. El físico reconoce cuatro cantidades fundamentales independientes.

La longitud, la masa, el tiempo y la 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. El concepto de masa se analizará con más detalle en el tema 4. Diremos ahora solamente que 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, y en el presente no parecen necesitarse cantidades fundamentales adicionales. Con muy pocas excepciones, todas las cantidades usadas hasta ahora en física pueden relacionarse a estas cuatro cantidades por sus definiciones, expresadas como relaciones matemáticas involucrando longitud, masa, tiempo y carga. Las unidades de todas estas cantidades derivadas son a su vez expresadas en función de las unidades de las cuatro cantidades 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 conferencia onceava sobre pesos y medidas realizada en París en 1960 con objeto de utilizar el sistema de unidades conocido por las siglas MKSC y utilizado a lo largo de nuestro curso. Las iniciales representan el metro, el kilogramo, el segundo y el coulomb.

Sus definiciones están dadas 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. El mencionado sistema MKSC, también denominado sistema internacional de unidades constituye una herramienta lógica y comprensiva de uso tanto científico como técnico.

Aparte de sus méritos intrínsecos, tiene la gran ventaja de que un solo sistema abarca todas las situaciones teóricas y prácticas. De modo que una vez que todo el mundo utilice el sistema se

ahorrrará el esfuerzo mental que se necesita para convertir las unidades de un sistema a otro. Un esfuerzo que puede dedicarse con mayor provecho a otros asuntos más importantes.

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

El mol y el grado Kelvin. Dos, las unidades derivadas se relacionan directamente con las unidades fundamentales. Por ejemplo, la unidad de aceleración es un metro por segundo al cuadrado.

La unidad de fuerza es el Newton, que es la fuerza necesaria para darle a un cuerpo de un kilogramo de masa una aceleración de un metro segundo cuadrado. La unidad de energía es el Joule. Trabajo realizado cuando una fuerza de un Newton desplaza un cuerpo a lo largo de una distancia de un metro.

En el sistema internacional se desaprueba el uso de unidades auxiliares. Así, la unidad de presión será un Newton por metro cuadrado. No utilizándose ni la atmósfera ni el bar.

De forma similar, la caloría no es empleada. Todas las formas de energía son medidas en Joules. Tres, las unidades eléctricas están relacionadas y coinciden con las tradicionalmente empleadas por la técnica.

Amperio, voltio, faradio, henrio, etc. 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 conocer solamente cuántos metros cúbicos ocupa. Para determinar la temperatura sería necesario 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, a la cantidad que las especifica. Estas se denominan 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, sus componentes. La velocidad de un cuerpo, su aceleración o la fuerza que se haya sometido son otros tantos ejemplos de magnitudes vectoriales que iremos encontrando a lo largo del curso.

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, una magnitud escalar más una dirección, mientras que el mismo símbolo en tipografía normal o sin flecha se refiere al módulo del vector. Finalmente, existen situaciones en las que no basta 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 naturaleza vectorial, pero su efecto no puede caracterizarse por solo tres componentes, sino que se precisan nueve, en general, al ser las deformaciones distintas según tres direcciones ortogonales entre sí. En este caso, necesitaríamos un conjunto de tres vectores, uno por cada una de las tres deformaciones principales o según direcciones previamente especificadas.

Cada uno de estos vectores tendría tres componentes. El resultado arrojaría así un total de nueve componentes o números representativos del estado de deformaciones experimentado en un punto dado del cuerpo. En electricidad y ópticas son también frecuentes las magnitudes tensoriales, debidas a una falta de isotropía de los cuerpos, es decir, a un diferente comportamiento de los mismos según la dirección considerada.

La de incidencia de la luz en la cara de un cristal, por ejemplo. Sin embargo, no todas las magnitudes tensoriales son de la misma categoría u orden para hablar en términos científicos. Así, la teoría de la relatividad utiliza tensores de 16 e incluso 25 componentes.

No debemos asustarnos ante esta situación nacida simplemente en nuestras necesidades de información acerca de un fenómeno natural concreto. El conocimiento de la masa de un cuerpo, por ejemplo, requiere una deformación 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 u óptico, 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? ¿Y 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, decíamos en la anterior emisión que una visión microscópica detallista átomo por átomo es imposible o inalcanzable debido al número tan considerable de partículas hipolucradas 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 irreducible 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 ± 2 °C. Por esto, se entiende que se cree que dicha temperatura se haya en alguna parte en el interior del intervalo de variación de 254 ± 258 °C. En realidad, la ecuación es una afirmación de probabilidad.

No significa que se esté seguro de que el valor se haya entre los límites indicados, sino de que las mediciones indican con una cierta probabilidad de que se haya allí. 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 caerá en el interior del mencionado intervalo y en el resto de los casos, por supuesto, fuera. Esto si el error estimado de 2 °C coincide con la llamada desviación tipo del recuento, ya que si, por ejemplo, fuese igual a 3 veces dicha desviación tipo, sólo en el $2 \cdot 1000$ de las medidas efectuadas se hallarían en el exterior del mencionado intervalo de 254 a 258 °C.

Veamos. Acaba de mencionar un concepto cuyo significado puede no estar del todo claro. El de la desviación tipo de un conjunto de medidas o datos representada en el texto por medio de la letra griega σ . Pero hay más.

Usted identifica este parámetro con el error introducido en el proceso de la medición. No parece clara tal conexión. ¿Podría aclararnos este punto? Con mucho gusto.

Supongamos que, deseando conocer con gran fidelidad la presión en una tubería de conducción de gas, efectuamos un total de 100 lecturas que recogemos en una tabla. En primer lugar, indiquemos que la contemplación de una extensa tabla de medidas puede ser de interpretación difícil, siendo aconsejable el definir un reducido número de parámetros estadísticos que sinteticen la información contenida en la tabla. Suelen emplearse dos parámetros.

Uno de tendencia central de las medidas y otro indicativo de la dispersión de valores. Para el primero, tomaremos el promedio aritmético o valor medio de las medidas individualizadas 100 en nuestro ejemplo. Tal valor medio lo designaremos por m minúscula y será para nosotros el valor verdadero o verdadero valor a que nos referíamos anteriormente.

Ciertamente, sin embargo, si realizamos una nueva medida, la 101, lo más probable es que no coincida con este valor medio. Pero eso sí, lo normal es que se aproxime bastante a él. ¿Pero cuánto? A esta pregunta podría responder precisamente la desviación tipo del conjunto de las 100 medidas tabuladas si hubiese sido calculada.

Si dichas medidas fuesen bastante dispares o dispersas, indicando bien una gran fluctuación en la presión del gas o bien el haber empleado un manómetro medidor de escasa calidad, podríamos esperar una notable diferencia entre una medida individual y el valor medio del conjunto. Por el contrario, si la dispersión fuese pequeña, la desviación tipo del proceso también sería reducida, existiendo poca disparidad en general entre una medida y el valor medio del conjunto. Parece, por otra parte, incuestionable que el asignar como valor de la presión del gas en la tubería la media de lecturas efectuadas será mucho más correcto o fiable en el segundo supuesto de pequeña desviación tipo que en el primero de gran dispersión, por lo que el error presente en la mencionada consideración del valor medio podrá tomarse proporcional a la desviación tipo, tal como hacemos en el texto.

Todo ello, claro, está en la hipótesis de errores aleatorios, es decir, debidos exclusivamente a la dispersión natural o intrínseca del proceso de medición o a la dispersión introducida por el instrumento en el tratamiento o presentación de la medida, pero no en el supuesto de errores anómalos o groseros debido a desperfectos en el instrumental, lecturas falsas, hipótesis de trabajo erróneas, etc., que podrían conducir a resultados que nada se pareciesen a la realidad del fenómeno. Las consideraciones últimamente efectuadas parecen apuntar hacia una gran importancia del trabajo práctico o experimental en el estudio de las ciencias de la naturaleza. ¿Podría precisar un poco más la utilidad o finalidad de los ensayos de laboratorio y al mismo tiempo decirnos cómo piensa la UNED resolver esta importante faceta de la formación de los estudiantes de ciencias en los cursos de carrera? Respondiendo a su primera pregunta diré que en efecto el trabajo de laboratorio es muy importante para primero demostrar las ideas teóricas de las ciencias naturales, segundo proporcionar una familiaridad con los aparatos y tercero entrenar al estudiante en cómo hacer experimentos.

Analizaremos cada uno de estos objetivos. Con frecuencia la demostración práctica de un

fenómeno constituye una gran ayuda para entenderlo. Por ejemplo, la interferencia de la luz no es un concepto intuitivo.

La idea de que dos haces de luz pueden eliminarse entre sí y producir oscuridad es un poco difícil de aceptar y la mayoría de las personas encontrarían útil que se les diese una demostración visual. La demostración es útil por otra razón, da una idea de los órdenes de magnitud. Las franjas de interferencia generalmente están muy juntas, lo que indica que la longitud de la onda luminosa es pequeña comparada con los objetos de la experiencia diaria.

El segundo objetivo tal vez sea más importante, pero es necesario decir con exactitud qué se entiende por aparatos en este contexto. En cualquier curso práctico el alumno manejará numerosos instrumentos sencillos, tales como potenciómetros, tornillos micrométricos, osciloscopios de rayos catódicos, etc. Y la experiencia que adquiera en su uso le será muy útil.

Sin embargo, si en alguna ocasión efectúa un trabajo científico de algún tipo, el conjunto de instrumentos con los que podría trabajar es enorme, y en ningún curso práctico sería posible enseñarle a usarlos todos. Lo que el curso debería llevar a cabo es adiestrarle en el uso de instrumentos en general. Hay cierta actitud mental que el experimentador debe adoptar cuando maneja cualquier instrumento.

Pero esto ya es parte del tercer objetivo, que es el más importante de todos. La frase ¿Cómo hacer experimentos? puede sonar vaga, de modo que trataremos de concretarla. El principal objetivo de las experiencias prácticas es adiestrar al experimentador para a. Plantear un experimento cuya precisión sea la apropiada para sus propósitos.

b. Estar consciente de los errores groseros y tomar las medidas necesarias para eliminarlos de los métodos y de los instrumentos. c. Analizar los resultados a fin de deducir conclusiones correctas. d. Estimar la precisión del resultado final.

y. Registrar las mediciones y cálculos con precisión, claridad y concisión. Todo esto conduce a decir que el objetivo principal de un curso práctico de ciencias es el adiestramiento para ser un experimentador competente. Pero el curso todavía puede hacer más.

Mostrarle la forma de trabajar en las ciencias de la naturaleza. Por ejemplo, la física es una de las ciencias naturales, es decir, es parte de nuestro esfuerzo para entender el mundo en que vivimos. La forma en que se procede en física cuando se hace frente a una situación práctica es por medio de una selección de lo que se cree son los aspectos esenciales del problema.

Por ejemplo, los griegos vieron que un cuerpo en movimiento llegaba al reposo y por lo tanto dijeron que para mantener un cuerpo en movimiento era necesaria una fuerza. Galileo y Newton observaron el mismo fenómeno, pero dijeron que el hecho de que el cuerpo llegase al reposo no era un aspecto esencial de la situación. Eso dependía del rozamiento y en ausencia de éste era cuando el cuerpo podía permanecer en movimiento.

Si tratamos de efectuar un experimento para comprobar este punto de vista, encontraremos

que no se puede eliminar completamente el rozamiento u otras fuerzas disipativas. Pero sí se pueden hacer menores y cuanto menores sean, más tardará el cuerpo en alcanzar el mencionado reposo. Por lo tanto, es razonable pensar que en el caso límite de rozamiento cero, el movimiento permanecería invariable, tal como afirma la primera ley de Newton de la dinámica.

En el laboratorio, el alumno aprenderá a contrastar la realidad con los modelos teóricos idealizados que le han sido presentados en los libros y en la pizarra, comprendiendo su carácter de entes representativos de fenómenos vivos, reales, que manejará en sus experiencias prácticas. La importancia de tales experiencias es, por todo lo mencionado, muy grande en la formación científica integral del alumno. Finalmente, con respecto a su segunda pregunta, efectivamente, la UNED está trabajando intensamente en poner a punto un ambicioso programa de trabajos experimentales en tres distintas vertientes.

Primero, confeccionar unas cajas de prácticas sencillas a realizar por el alumno en su propio domicilio, cuidadosamente preparadas para introducirle en los aspectos fundamentales de la medición y de la contemplación de la realidad física viva a que hacíamos referencia últimamente. Segundo, dotando nuestros centros regionales de un instrumental adecuado para la demostración de prácticas más complejas. Y, finalmente, en tercer lugar, concertando acuerdos con instituciones de enseñanza superior e investigación para la realización de las convivencias o sesiones de trabajo intensivo que los alumnos de Ciencias de la UNED realizarán por primera vez en el verano de 1974 y en donde se completará su formación experimental al participar en trabajos de mayor complejidad debidamente monitorizados.

Acaban de escuchar ustedes Ciencias físico-naturales. Tema segundo, medición, por el profesor don José Luis Lorente Huar. Nos despedimos de ustedes hasta mañana miércoles, a esta misma hora, en que podrán escuchar los temas de lengua y derecho correspondientes al mismo ciclo introductorio que les venimos ofreciendo.

El programa de Radio Nacional de España.