



Metrología

La ciencia de la medida

MANUEL C. RUBIO

La ciencia comienza donde empieza la medición. Esta afirmación, que en principio puede parecer un tanto descabellada, refleja la relevancia que la metrología tiene en todos los ámbitos de la sociedad. Pero la ciencia de las medidas, considerada la más antigua del mundo, no es sólo asunto de los científicos. También lo es del resto de ciudadanos, que todo el tiempo necesitamos medir. En el comercio, la industria y en nuestra vida cotidiana. Desde una estimación a simple vista hasta un proceso industrial o de investigación. Responsable de que la intrincada pero invisible red de servicios, suministros y comunicaciones de la que dependemos sea eficaz y segura, el sector reclama para la metrología un lugar concreto en los planes de I+D+i y lamenta que el excelente nivel alcanzado por el sistema metrológico nacional haya sido posible en muchos casos gracias a esfuerzos individuales. De cara al futuro, los metrólogos apuestan por mantener y desarrollar con criterios de excelencia lo que ya se tiene, que no es poco, en relación con las magnitudes básicas, y por participar en el desarrollo de patrones ligados a la energía, el agua, la salud, el medio ambiente, la seguridad y el bienestar social.

A ojo de buen cubero expresa que algo se hace a bulto, de forma aproximada, sin precisión exacta y sin usar ningún instrumento o herramienta de medición, y alude, al igual que otros dichos populares, a la falta de reglamentación respecto a los pesos y medidas que antiguamente existía en los diferentes reinos de España. Y es que, aunque no siempre seamos conscientes de ello, lo cierto es que las mediciones han formado parte de la vida diaria de los pueblos, al menos desde que la ciencia fuera aceptada como tal, un hecho que cabría fechar en la ciudad griega de Mileto, en el siglo VI a.C. No resulta nada extraño, por tanto, encontrar rastro de alguna operación de medida en áreas del conocimiento tan dispares como la antropología, la arquitectura o la

agrimensura –considerada antiguamente la rama de la topografía destinada a la delimitación de superficies, la medición de áreas y la rectificación de límites–, o en las habituales transacciones comerciales, la propiedad de la tierra y el derecho a percibir rentas.

Para poder realizarlas, las personas tuvieron que conformarse en un principio con utilizar lo único que tenían a mano: su propio cuerpo. Así apareció el pie, casi siempre apoyado sobre la tierra, como unidad de medida útil para calcular pequeñas parcelas; el codo, para medir piezas de telas; el paso, para medir terrenos más grandes caminando por las lindes; la palma, para medidas más pequeñas de objetos delicados; y el dedo, para determinar menores longitudes.

Variedad de pesos y medidas

A estas unidades, y hasta bien entrado el siglo XIX, le siguieron una variedad de medidas de longitud, volumen o masa que eran arbitrarias en tamaño e, incluso, variables de una ciudad a la vecina. Así, en las diferentes regiones españolas, al igual que en el resto de Europa, se media y se pesaba utilizando unidades locales como la legua, la toesa, el carro, la vara, la libra, la cántara, la arroba, el cuarto, el celemín, la fanega... Una enorme diversidad de pesos y medidas que empezaba a obstaculizar el comercio exterior y el progreso industrial, ya ambos muy importantes, además de crear de paso algún que otro problema a los recaudadores de impuestos de los diferentes países.

Lo peor, con todo, fue que durante

más de medio siglo cualquier intento de unificar estas unidades y de internacionalizar el sistema métrico decimal surgido en plena Revolución Francesa –lo que para algunos autores suponía tanto una revolución social como científica– fracasó estrepitosamente, la mayoría de las veces por la oposición de los gremios y nobles, que veían peligrar los pingües beneficios que obtenían de la confusión.

Un asunto de todos

Así las cosas, hubo que esperar hasta 1849 para que Isabel II sancionara la Ley de Pesas y Medidas, una norma que introduce por primera vez en la legislación española el sistema métrico decimal y su nomenclatura científica y deja claramente definido el concepto de uniformidad al establecer que en todos los dominios españoles habrá sólo un sistema de medidas y pesas, cuya unidad fundamental será igual en longitud a la diezmillonésima parte del arco del meridiano que va del Polo Norte al Ecuador y se llamará metro.

Surge, de este modo, la que se podría considerar la primera ley fundamental de la metrología en España, una ciencia que

acompaña y precede en muchos casos a los avances científicos pero que continúa siendo para muchos la disciplina más desconocida (muchos de quienes leen o escuchan esta palabra por primera vez la confunden con meteorología) del sistema de I+D+i.

Pero la ciencia de las medidas no es sólo asunto de los científicos. También es de vital importancia para el resto de los ciudadanos. No en vano la metrología es la responsable de que la intrincada pero invisible red de servicios, suministros y comunicaciones de la que dependemos todos sea eficaz y segura.

Además, todo el tiempo necesitamos medir. En el comercio y en la industria, pero también en nuestra vida cotidiana. Desde una estimación a simple vista hasta un proceso industrial o de investigación. Verificar los contadores del gas, el agua o la electricidad; las balanzas de los supermercados, los radares de las carreteras, o establecer controles sobre los equipos que miden el ruido o la presencia de gases son actividades que aseguran y garantizan la calidad de vida y seguridad de los ciudadanos, pero que difícilmente podrían entenderse sin el concurso de la metro-

logía, al igual que ocurre con la eficiencia energética, los sistemas de navegación por satélite, la seguridad vial, la salud, las transacciones comerciales o el almacenamiento de combustibles.

La más antigua del mundo

A pesar de su relevancia en todos los ámbitos de la sociedad, no existe una definición clara y completa de esta ciencia con la que los metrólogos se encuentren satisfechos, más allá de la clásica que la describe como ciencia de la medida, si bien la más aceptada es la propuesta por el científico, profesor y escritor recientemente fallecido Carlos Enrique Granados, quien definía la metrología como la ciencia que tiene por objeto el estudio de las propiedades medibles, las escalas de medida, los sistemas de unidades, los métodos y técnicas de medición, así como su evolución, la valoración de la calidad de las mediciones y su mejora constante, facilitando el progreso científico, el desarrollo tecnológico, el bienestar social y la calidad de vida.

Presente en todos los campos de la investigación y el desarrollo, la metrolo-

Impacto económico y social

Aunque no es fácil definir y cuantificar el impacto económico y social de la metrología, diferentes estudios aseguran que en la Europa actual las mediciones suponen un coste de más del 1% del PIB combinado, con un retorno económico equivalente de entre el 2 y el 7% del PIB. Ya sea café, agua, planchas de madera, electricidad o calor, todo se compra y se vende tras efectuar procesos de medición. Las horas de sol, tallas de ropa, porcentaje de alcohol, peso de las cartas, temperaturas de los locales, presión de los neumáticos... Resulta prácticamente imposible describir cualquier cosa sin referirse a la metrología. El comercio, en todas sus vertientes, el mercado y las leyes que los regulan dependen de esta ciencia que permite conocer de forma cuantitativa las propiedades físicas y químicas de los objetos.

El impacto social de la metrología se percibe en el comercio de productos, responsable en muchos países de entre el 60 y el 80% de su PIB. Los intereses contrapuestos del vendedor y comprador justifican plenamente la regulación, la unificación de las unidades de medida y la exactitud de las mismas, de tal modo que puede decirse que una buena aplicación de la metrología favorece la competitividad y fomenta la ética entre las transacciones.

En el campo de la salud, por su parte, las medidas son un instrumento básico para la calidad de vida. Un estudio realizado por una famosa clínica de Estados Unidos indicaba que sobre un universo de 20.000 pacientes unos resultados de medida de colesterol con error del 3% provocaría un 5% de falsos casos positivos, lo que supondría a su vez la repetición de ensayos o

intervenciones médicas innecesarias. Además, la metrología se demuestra decisiva en el control y medida de metales pesados –cadmio, plomo, mercurio u otras sustancias– presentes en algunos productos de consumo y que en determinadas proporciones convierten a éstos en una amenaza vital.

En materia de seguridad vial, medidas efectuadas con instrumentos como manómetros, frenómetros o alineadores al paso son de suma importancia para una conducción más segura. De otra parte, los instrumentos utilizados para controlar la velocidad (cinemómetros), alcohol (etilómetros) necesitan que proporcionen medidas fiables y exactas.

Asimismo, la seguridad e higiene en el trabajo de muchos empleados dependen de las medidas que permiten conocer los parámetros de confort y estrés térmico (niveles de ruido, temperatura, radiación, etc.).

La metrología también está presente en el medio ambiente, donde son numerosos los instrumentos utilizados para evaluar los niveles de gases y partículas procedentes del tubo de escape de los vehículos, las industrias o las calefacciones; las radiaciones ionizantes por medicina nuclear; las aguas residuales, la contaminación del agua o del suelo y los ríos y mares; la radiación ultravioleta, las altas concentraciones de radón en lugares no bien ventilados...

Pero también la metrología juega un papel central en el desarrollo industrial, al proteger a la industria de medidas incorrectas, promover y asegurar la calidad y el desarrollo de productos y controlar, regular, automatizar y supervisar procesos.

gía cubre tres actividades principales: la definición de las unidades de medida internacionalmente aceptadas (España adopta el Sistema Internacional de Unidades, el SI, que incluye las siete unidades básicas –metro, kilogramo, segundo, amperio, kelvin, mol y candela asociadas a las magnitudes de longitud, masa, tiempo, corriente eléctrica, temperatura termodinámica, cantidad de sustancia e intensidad luminosa, respectivamente–, la realización de las unidades de medida por métodos científicos y el establecimiento de las cadenas de trazabilidad, determinando el valor y exactitud de una medición y diseminando dicho conocimiento.

Por otro lado, esta ciencia, probablemente la más antigua del mundo –la ciencia comienza donde empieza la medición, sostienen algunos autores–, se considera habitualmente dividida en tres categorías, según se ocupen de la organización y el desarrollo de los patrones de medida y su mantenimiento (científica), asegure el adecuado funcionamiento de los instrumentos de medida empleados en la industria y en los procesos de producción y verificación (industrial), o se ocupe de aquellas mediciones que influyen sobre la transparencia de las transacciones comerciales, la salud y la seguridad de los ciudadanos (legal).

El caso de España

En España, la metrología está coordinada por el Consejo Superior de Metroología (CSM), considerado el órgano superior de asesoramiento y coordinación del Estado en materia de metrología científica, técnica, histórica y legal. Creado en 1985 y adscrito, a través de la Secretaría General de Industria, al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, el CSM pasa por ser el primer intento serio por dotar a nuestro país de una organización oficial, operativamente estructurada y única para la promoción de la metrología.

Por su parte, las realizaciones prácticas de las unidades de medida (patrones nacionales) y su diseminación al resto de usuarios corresponde al Centro Español de Metrología (CEM) y a sus siete Laboratorios Asociados (ROA –Real Instituto y Observatorio de la Armada, encargado de las magnitudes de tiempo y frecuencia; IFA-CSIC –Instituto de Física Aplicada, que se ocupa de la fonometría y radiometría; INTA –Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, dedicado a la investigación de la humedad, potencia, impedancia y ruido en alta frecuencia; TPYCEA –Taller de Precisión y Centro



Banco de pruebas de metrología en Talleres MYL de Mendaro (Guipúzcoa). / AGE FOTOSTOCK

Electrotécnico de Artillería– que se encarga de la atenuación eléctrica en alta frecuencia; LMRI-CIEMAT –Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes, del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, centrado en el estudio de las radiaciones ionizantes; LCOE –Laboratorio Central Oficial de Electrotécnica, encargado de la alta tensión eléctrica, y el ISCIII –Centro Nacional de Sanidad Ambiental del Instituto de Salud Carlos III, que investiga la magnitud del ozono.

Todos ellos, como destacan desde el propio CEM, forman la cúspide de la pirámide metrológica nacional, donde se establecen y se mantienen los patrones primarios de las unidades de medida correspondientes al Sistema Internacional de Unidades (Sistema SI), declarado de uso legal en nuestro país en 1985.

Menores recursos

De sacar adelante todo este entramado se encargan 129 personas expertas en metrología, 88 de ellos titulados universitarios, de los que aproximadamente la mitad tra-

bajan en el CEM, según se recoge en el documento *La metrología científica en España y su entorno europeo*, elaborado hace algo menos de dos años por la Comisión de Laboratorios Asociados del Consejo Superior de Metrología.

Este documento destaca asimismo que la inversión media anual durante los últimos cuatro años para equipamiento metrológico rondó los 2,9 millones de euros, de los que el 63% correspondieron al CEM.

Si se comparan estos datos con los de algunos países europeos, caso de Alemania, Francia o Reino Unido, se observa que el esfuerzo español en esta materia es sensiblemente inferior, ya que el personal técnico disponible es diez veces mayor en Alemania que en España, y que existen 6,1 y 4,3 veces más metrólogos británicos y franceses que españoles. Además, las inversiones germanas son 25 veces las españolas, y los británicos gastan 16 euros por cada uno que invierte nuestro país, una proporción que se reduce a algo más de 6 a 1 en el caso de Francia.

Pero a pesar de esta menor dotación

VERIFICAR LOS CONTADORES DEL GAS, EL AGUA O LA ELECTRICIDAD; LAS BALANZAS DE LOS SUPERMERCADOS, LOS RADARES DE LAS CARRETERAS, O ESTABLECER CONTROLES SOBRE LOS EQUIPOS QUE MIDEN EL RUIDO O LA PRESENCIA DE GASES SON ACTIVIDADES QUE ASEGURAN Y GARANTIZAN LA CALIDAD DE VIDA Y SEGURIDAD DE LOS CIUDADANOS, PERO QUE DIFÍCILMENTE PODRÍAN ENTENDERSE SIN EL CURSO DE LA METROLOGÍA.



AGE FOTOSTOCK

de la estructura metrológica científica en España, nuestro país mantiene unas capacidades de medidas completamente homologables con las de nuestro entorno europeo. Es más, el informe del CSM reconoce que las debilidades del sistema metrológico español proceden fundamentalmente de la incapacidad de los recursos para atender nuevos campos emergentes, y de la existencia de "equipos unipersonales" que ponen en riesgo la continuidad del conocimiento por incidencias que afecten a una sola persona.

Calibración y ensayo

Por otro lado, hay que destacar que la disseminación de las unidades de medida por todo el país, desde el nivel primario hasta las mediciones realizadas en la industria, el comercio, la ciencia, la educación o los servicios, manteniendo una trazabilidad demostrable a los patrones nacionales, se lleva a cabo mediante el concurso de los laboratorios de calibración, la mayoría de ellos acreditados por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC), piezas igualmente claves en el engranaje del sistema metrológico español.

En este sentido, el estudio del CSM refleja el creciente número tanto de laboratorios acreditados como de las disciplinas técnicas en las que actúan. Así, al sector industrial, históricamente el motor impulsor de esta actividad, se han añadido

en los últimos años otros como el agroalimentario, la construcción o el medio ambiente, que se han destacado en la utilización de la acreditación como garante de la competencia técnica.

Este dinamismo ha tenido su reflejo en el creciente número de certificados de calibración e informes de ensayo emitidos año tras año. El Consejo Superior de Metrología estima en su documento que los 630 laboratorios acreditados en la actualidad –494 de ensayo y 136 de calibración– ponen a disposición de la industria unos 200.000 certificados o informes anuales. A este dato, ya de por sí relevante, habría que añadirle los certificados emitidos por laboratorios fuera del alcance de las acreditaciones que, según algunos estudios, son diez veces superiores, lo que situaría la cifra final en el entorno de los dos millones de certificados y/o informes al año.

Mejora continua

Para el CSM, la ciencia y la industria exigen permanentemente patrones y métodos de medida cada vez más precisos, que además deben cubrir un rango más y más amplio de medidas, desde los valores de dimensiones microelectrónicas e incluso atómicas hasta los valores astrofísicos. Porque al contrario de lo que opinan los profanos, que tienden a asociar la idea de patrón con algo estático, los expertos ase-

guran que la evolución tecnológica obliga hoy más que nunca a mejorar continuamente las técnicas de medida con el fin de ganar precisión y reducir incertidumbre. En la actualidad, al metrólogo se le exige métodos de medida fiables, sencillos y precisos para medir desde las características de una molécula hasta las de una galaxia.

Por ello, el sector reclama con insistencia que la metrología, como puntal tecnológico básico y multidisciplinar, sea incluida como un campo específico dentro de los planes nacionales de I+D+i y acorde con la realidad europea, así como en los programas de financiación de infraestructuras

Los metrólogos lamentan, en este sentido, que el excelente nivel alcanzado por el sistema metrológico nacional, a pesar de la precariedad de medios disponibles, haya sido posible en muchos casos gracias a esfuerzos individuales. Por eso, consideran prioritario que el Gobierno dé un impulso a la organización metrológica nacional para que pueda afrontar el futuro de forma estructurada, programada y sostenible.

Del mismo modo, estiman que también existe un déficit en formación y divulgación de la metrología ya que, salvo contadas excepciones y a diferencia de lo que ocurre en otros países europeos, las universidades españolas no disponen de

INTERNET

programas específicos en esta materia, mientras que en otros niveles educativos la enseñanza de las unidades de medida es asombrosamente obsoleta (muchos profesores y libros de texto no aplican el Sistema SI, y es muy frecuente ver señales de tráfico, productos envasados, tablas horarias o artículos periodísticos con unidades de medida mal escritas).

Para los profesionales del sector, el nuevo panorama europeo hace necesario que nuestro país adopte medidas de apoyo directo a la investigación y desarrollo en materia metroológica. De lo contrario, subrayan, tendremos que sufrir en el futuro una dependencia exterior que haría menos competitivas nuestras industrias. Así, no dudan en afirmar que la metrología es el sustrato necesario de la I+D+i nacional y que no es posible realizar investigación y desarrollo si los laboratorios no cuentan con un sistema de trazabilidad que garantice niveles de incertidumbre homologables.

Áreas prioritarias

En concreto, y con el fin de optimizar los recursos disponibles, el Centro Español de Metrología aboga por ser muy selectivo en los objetivos, definiendo claramente las áreas prioritarias de I+D en metrología a partir de las prioridades de la UE y las marcadas por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM). Así, el CEM apuesta por conservar y desarrollar con criterios de excelencia lo que ya se tiene, que no es poco, en cuanto a las magnitudes básicas y mantener con un alto nivel de capacidades reconocidas de medida la totalidad de las unidades derivadas de las que existe patrón nacional declarado.

En definitiva, el sector entiende que es preferible mantener una política intensiva que garantice la calidad de los desarrollos que abordar otra, de tipo extensivo, que acometa un mayor número de campos con deterioro de la calidad, sin que esta preferencia suponga que se tengan que rechazar otros proyectos con criterios de oportunidad y de acuerdo con las posibilidades financieras y de cooperación internacional.

Asimismo, el máximo órgano de la metrología española destaca la necesidad de trabajar en el desarrollo de patrones ligados a las prioridades definidas por la Unión Europea en los campos de la energía, la salud, el medio ambiente, la seguridad y el bienestar social, áreas en las que España debería añadir también las de agua, energías renovables e industria alimentaria y vinícola.

Centro Español de Metrología

<http://www.cem.es>

El CEM es un organismo autónomo adscrito a la Secretaría General de Industria del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Creado en 1990, es el encargado de la custodia, conservación y disseminación de los patrones nacionales de las unidades de medida; dar soporte de trazabilidad a la red de laboratorios de calibración y ensayo e industria; ejercer las funciones de la Administración General del Estado en materia de metrología legal, y de ejecutar proyectos de investigación y desarrollo en el ámbito metroológico, entre otras funciones.

Entidad Nacional de Acreditación

<http://www.enac.es>

Organismo designado por la Administración para establecer y mantener el sistema de acreditación a nivel nacional, de acuerdo con las normas internacionales, y siguiendo en todo momento las políticas y recomendaciones establecidas por la Unión Europea. Su principal misión es evaluar la competencia técnica de los organismos encargados de la evaluación de la conformidad –laboratorios, entidades de inspección, de certificación, verificadores– para generar así confianza en sus actividades a la Administración, al mercado y a la sociedad en general.

Otros sitios de interés

www.boe.es/boe/dias/1989/11/03/pdfs/A34496-34500.pdf

Unidades legales de medida en España, publicadas en el Boletín Oficial del Estado.

www.roa.es

Real Instituto y Observatorio de la Armada.

www.ciemat.es

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.

www.ifa.csic.es

Instituto de Física Aplicada.

www.inta.es

Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.

www.ffii.es/f2i2/lcoe/lcoe_portada.asp

Laboratorio Central Oficial de Electrotécnica.

www.mde.es/dgam/centrostecnologicos.htm

Taller de Precisión y Centro Electrotécnico de Artillería.

www.isciii.es/htdocs/centros/sanidadambiental/sanidadambiental_presentacion.jsp

Centro Nacional de Sanidad Ambiental del Instituto de Salud Carlos III del Ministerio de Sanidad.

www.aenor.es

Asociación Española de Normalización y Certificación.

www.bipm.org

Oficina Internacional de Pesas y Medidas. En francés e inglés.

www.euramet.org

Asociación Europea de Institutos Nacionales de Metrología.

En inglés

www.eurolab.org

Laboratorios europeos de calibración, ensayo y análisis. En inglés.

www.european-accreditation.org/content/home/home.htm

Acreditación en Europa. En inglés.

www.nist.gov

National Institute of Standards and Technology del Gobierno de Estados Unidos. En inglés.

www.imeko.org

Confederación Internacional sobre Medición.