

DE LA METROLOGÍA

ammac.mx

Volumen 23. Año 2025. N° 1



Metrología: Educación y Academia

1er Encuentro de Metrología: “La Metrología en la Academia, la Industria y la Sociedad”

La importancia de las mediciones en los sistemas de gestión de la calidad

Introducción al aseguramiento de la calidad de mediciones oceanográficas para evaluar los efectos del cambio climático sobre los arrecifes de coral en México

Metrología: un panorama de introducción

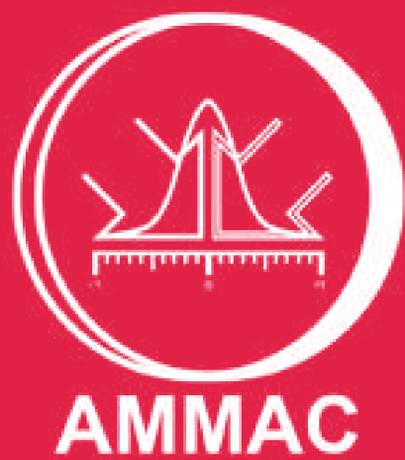
Metrología en Acción: Cómo la calificación de equipos HPLC/MS asegura datos confiables

Herramientas digitales para la enseñanza de la Metrología

La calificación como eje del aseguramiento de la calidad de los equipos medidores de pH

Un enfoque sobre los aspectos esenciales para la elaboración e implementación de un procedimiento de calibración de manómetros de tubo Bourdon por comparación directa

*Edición realizada en colaboración con
Universidad Nacional Autónoma de México*



Carta del Vicepresidente

Desde su creación en 1988, la *Asociación Mexicana de Metrología A.C.*, conocida por su acrónimo **AMMAC**, ha integrado y colaborado con destacados profesionales de la metrología, así como con instituciones públicas, privadas y la Academia. Su labor en la promoción y difusión del conocimiento metrológico ha sido reconocida a nivel nacional e internacional, como se evidenció en su participación en el *XXIX Congreso Nacional de Metrología, Normalización y Evaluación de la Conformidad*, denominado “*Metrología, Eficiencia y Efectividad para una Industria Sostenible*”, celebrado en noviembre de 2024 en la ciudad de Monterrey, Nuevo León.

Ante los retos económicos y de desarrollo que enfrenta la industria y el comercio en nuestro país, la nueva Ley de Infraestructura de la Calidad y su Reglamento representan una evolución significativa. Estos instrumentos fortalecen el Sistema de Infraestructura de la Calidad, la normalización, la acreditación, la estandarización, la metrología científica, legal e industrial, así como la vigilancia del mercado.

Aún queda mucho por hacer. Por ello, **AMMAC** contribuye con la publicación **De la Metrología**, en la que participan representantes de la Academia y sus talentos, además de los diversos organismos de evaluación de la conformidad: laboratorios de calibración, ensayos de aptitud y unidades de inspección. Esta publicación se enfoca en aspectos esenciales para la elaboración e implementación de procedimientos de calibración en los sistemas de gestión de la calidad.

La innovación y la tecnología llegan a **De la Metrología** con la presentación de su edición digital, haciendo extensiva la invitación a los Organismos de Evaluación de la Conformidad, a las entidades de acreditación, al CENAM, a la DGN, a Profeco, así como a la industria y al comercio, para que participen con temas de investigación, ensayos y contribuciones relacionadas con los diversos aspectos de la ciencia de las mediciones.

En **AMMAC** trabajamos para contribuir y construir el desarrollo metrológico en sus diferentes magnitudes, con el propósito de fortalecer la industria y el comercio, y lograr los resultados planteados en el Plan México del Gobierno Federal.

La Metrología al servicio de la industria nacional.

— Ing. Carlos Enrique Lares Ponce, Vicepresidente I del Consejo Directivo

Tabla de contenidos

- 1) 1er Encuentro de Metrología: “La Metrología en la Academia, la Industria y la Sociedad” — pág. 06
- 2) La importancia de las mediciones en los sistemas de gestión de la calidad — pág. 08
- 3) Introducción al aseguramiento de la calidad de mediciones oceanográficas para evaluar los efectos del cambio climático sobre los arrecifes de coral en México — pág. 12
- 4) Metrología: un panorama de introducción — pág. 19
- 5) Metrología en Acción: Cómo la calificación de equipos HPLC/MS asegura datos confiables — pág. 25
- 6) Herramientas digitales para la enseñanza de la Metrología — pág. 32
- 7) La calificación como eje del aseguramiento de la calidad de los equipos medidores de pH — pág. 41
- 8) Un enfoque sobre los aspectos esenciales para la elaboración e implementación de un procedimiento de calibración de manómetros de tubo Bourdon por comparación directa — pág. 49

Editada:

Asociación Mexicana de Metrología
A.C Ixcateopan No. 157 B Col. Letrán
Valle. C.P. 03650. Alcaldía Benito
Juárez, Ciudad de México.
55 5535 1187 — 55 6074 3539
www.ammac.mx
info@ammac.mx

Presidente:

Ing. Abel Chávez Reguera

Vicepresidente I

Ing. Carlos Enrique Lares Ponce

Vicepresidente II

M. en C. María de los Dolores Cerón
Toledano

Secretario:

Ing. Rosa María Herrera Hernández

Supervisión de contenido:

Dra. Flora E. Mercader Trejo
Dr. Raúl Herrera Basurto
Dr. (c) Froylán Martínez Suárez

Tesorero:

Mtro. Arturo César Salcedo

Diseño:

M. en C. Ilse Noguez Cerón

Créditos de imágenes: Getty Images

Sobre AMMAC

La Asociación Mexicana de Metrología, A. C. se constituyó el 12 de julio de 1988 para integrar una comunidad de profesionales que se dedican a las mediciones, en todas sus aplicaciones, con la finalidad de difundir el conocimiento en nuestro país y divulgar los avances en la investigación y el desarrollo de nuevos métodos, y procedimientos de medición, nuevas regulaciones y nuevas tecnologías en todos los sectores del quehacer nacional.

Actividades y Servicios

EVENTOS Y CAPACITACIÓN

- Cursos sobre metrología y sus aplicaciones
- Talleres Teórico - Práctico
- Congreso Nacional e Internacional de Metrología
- Encuentros Nacionales de Metrología
- Conferencias y Seminarios

PUBLICACIONES

- Revista "De la Metrología"
- Boletín "Metro visión"

ASISTENCIA TÉCNICA

- Desarrollo de procedimientos y métodos de medición
- Desarrollo de sistemas de gestión de las mediciones
- Recomendaciones para la selección, uso, mantenimiento, calibración y verificación de instrumentos de medición.
- Diagnostico y recomendaciones para la adecuada operación de los organismos de evaluación de la conformidad.
- Metrología en normalización y desarrollo de procedimiento de evaluación de la conformidad (PEC)
- Vinculación con proveedores de servicios de evaluación de la conformidad

1er Encuentro de Metrología: “La Metrología en la Academia, la Industria y la Sociedad”

Por: Miguel Ángel López Díaz, Tonantzin Ramírez Pérez y Eduardo Gutiérrez
Comité Organizador del 1er Encuentro de Metrología



Como es bien sabido, en México la normalización se plasma en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), de carácter obligatorio y elaboradas por dependencias del Gobierno Federal. No cualquiera puede asegurar que un bien o servicio cumple con la norma; se requiere que una entidad de acreditación valore la competencia técnica y confiabilidad de los organismos de certificación, laboratorios de prueba, laboratorios de calibración y unidades de verificación. La normalización y evaluación de la conformidad no podrían efectuarse sin el sustento de la Metrología, la cual asegura la confiabilidad de las mediciones y es uno de los pilares del desarrollo científico e industrial.

Dado lo anterior, es evidente la necesidad de que el país cuente con metrólogas y metrólogos con la capacitación necesaria y cuyos conocimientos se actualicen constantemente. Ante esta necesidad, en el marco del Proyecto PAPIME PE208024 “Herramientas Digitales para la Enseñanza de la Metrología” del Programa para Innovar y Mejorar la Educación (DGAPA-UNAM), el jueves 8 y el viernes 9 de agosto se llevó a cabo el 1er Encuentro de Metrología: “La Metrología en la Academia, la Industria y la Sociedad” en las instalaciones de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex), organizado de manera conjunta con la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

El principal objetivo de este encuentro fue motivar a alumnas y alumnos de carreras afines a las ciencias físicas, químicas, matemáticas, y las ingenierías para que consideren a la Metrología como una opción de especialización y desarrollo profesional. Un objetivo relacionado fue difundir la cultura metrológica y generar conciencia de la importancia de hacer mediciones con altos estándares de calidad y su relevancia en la obtención de resultados confiables.

El resto del programa consistió en presentaciones de profesoras y profesores del Instituto Politécnico Nacional (IPN), de la UAEMex y de la UNAM, alumnas y alumnos de la UNAM y personal de SICAMET. El evento concluyó con el Panel de Discusión “El papel de la academia para responder a las necesidades de la industria”, en el que también participaron miembros de SICAMET y de CICCOSA.

Esperamos que éste sea el primero de una larga serie de eventos que permitan seguir difundiendo la cultura metrológica y que más jóvenes se interesen en aprender y aplicar esta ciencia.



La importancia de las mediciones en los sistemas de gestión de la calidad

Por: *Elvia Sosa Zavala*

*Unidad de Metrología, Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma de México
ORCID: 0009-0009-9709-0463*



Resumen: se presenta una breve descripción del marco legal de la infraestructura de la calidad en nuestro país y una reflexión sobre la importancia de formar recursos humanos que conozcan la normatividad, que sean capaces de implementar sistemas de gestión de la calidad así como los procedimientos que le dan soporte, y que realicen mediciones con el nivel de confiabilidad que requiere la sociedad.

Introducción

La reforma constitucional de 1994 dio pauta a la estructura de la pirámide legislativa en México. En esta jerarquía escalonada, tenemos a las leyes por debajo de los Tratados Internacionales y de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. De manera particular, los temas de calidad y de las mediciones están considerados en una sola ley, la Ley de Infraestructura de la Calidad (LIC). Esta ley fue publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) en julio del 2020, sustituyendo a la Ley Federal sobre Metrología y Normalización. La LIC es referencia para la Infraestructura de la Calidad (IC) en nuestro país, la cual *“es el conjunto de iniciativas, procesos, instituciones, autoridades normalizadoras, organizaciones, actividades y personas que interactúan entre sí. Incluye una política nacional de calidad, un marco regulatorio y todos los sectores interesados que tiene como finalidad proporcionar resultados que garanticen los objetivos legítimos de interés público e impulsen el desarrollo y reactivación económica del país”* [1].

Entre los argumentos para consolidar una IC en cada país, se describe: *“Una IC puede no solamente ayudar a asegurar el cumplimiento legítimo de preocupaciones de salud, seguridad y ambiente para fines de exportaciones, sino también para el consumo interno con miras al bienestar de la población”* [2].

Los apartados generales que describe la LIC son: normalización, estandarización, evaluación de la conformidad, metrología y acreditación. Estos temas son la pauta para los reconocimientos que se otorgan en nuestro país a las organizaciones que evalúan la conformidad. Reconocemos como Evaluación de la Conformidad: *“el proceso técnico que permite demostrar el cumplimiento con las Normas Oficiales Mexicanas, Estándares, Normas Internacionales ahí referidos o de otras disposiciones legales. Comprende, entre otros, los procedimientos de muestreo, prueba, inspección, evaluación y certificación”* [1].

Las organizaciones que evalúan la conformidad son: Laboratorios de Ensayo, Unidades de Inspección, Organismos de Certificación y otros proveedores de servicios previstos, los cuales la misma LIC establece que deberán estar acreditados ante una Entidad de Acreditación.

Como laboratorios de ensayo, de calibración o de medición, evaluamos la conformidad y formamos parte del Sistema Nacional de Infraestructura de la Calidad, *“sistema que tiene por objeto coordinar a las autoridades de todos los órdenes de gobierno en sus respectivos ámbitos de competencia, a las Autoridades Normalizadoras, al Centro Nacional de Metrología, a los Institutos Designados de Metrología, a las Entidades de Acreditación, a los Organismos de Evaluación de la Conformidad, a los Organismos Nacionales de Estandarización y a los sujetos facultados para estandarizar, a través de regulaciones, estrategias y principios para que la política nacional en materia de normalización, estandarización, Evaluación de la Conformidad y metrología, que fomente la calidad y el desarrollo económico”* [1].



Certificación y acreditación

Existen diversos modelos para gestionar la calidad en las organizaciones, entre ellos el modelo ISO. Cada organización basa su decisión de implementación en su razón de ser. Tanto en la certificación como en la acreditación se requiere la existencia de un Sistema de Gestión de la Calidad, definido como *“un conjunto de elementos de una organización interrelacionados o que interactúan para establecer políticas, objetivos y procesos para lograr estos objetivos relacionados con la calidad”* [3].

En este contexto, la calidad y la metrología son pilares fundamentales que rigen a un laboratorio, ya que lo que se mida debe estar soportado en un esquema de buenas prácticas de las mediciones y por supuesto en un esquema de calidad. Una forma de lograr esto es a través de la certificación. En la página de la Secretaría de Economía se define a la certificación como *“evaluar que un producto, proceso, sistema o servicio se ajusta a las normas, lineamientos o reconocimientos de organismos dedicados a la normalización nacionales o internacionales”* [4].

Dentro de la certificación de sistemas, se ubican los Sistemas de Gestión de Calidad (SGC) con base en la norma ISO 9001, cuya versión vigente es 2015. La traducción para México es el estándar NMX-CC-9001-IMNC-2015; este documento refiere la importancia de implementar un SGC: *“La adopción de un sistema de gestión de la calidad es una decisión estratégica para una organización que le puede ayudar a mejorar su desempeño global y proporcionar una base sólida para las iniciativas de desarrollo sostenible”* [5].

Adicional a la certificación, tenemos la acreditación. De acuerdo con la LIC, la acreditación es el *“Reconocimiento emitido por una Entidad de Acreditación por la cual se reconoce la competencia técnica y confiabilidad de las entidades para operar como Organismos de Evaluación de la Conformidad, para llevar a cabo la Evaluación de la Conformidad”* [1]. La norma que aplica para la acreditación de laboratorios de calibración y ensayo es la ISO/IEC 17025, cuya versión vigente es 2017; su traducción para México es el estándar NMX-EC-17025-IMNC-2018.

Por otro lado, las organizaciones que entregan un resultado de medida, requieren tener un sistema de control de mediciones efectivo, que evite que el instrumento utilizado o el proceso de medida produzcan resultados incorrectos que afecten la calidad y la credibilidad de las mediciones. Es importante reconocer la propuesta de un Sistema de Gestión de las mediciones con base en la norma ISO 10012, cuya versión vigente es 2003, para lograr el control de los procesos de medición y de los instrumentos. En México, la traducción de este estándar es NMX-CC-10012-IMNC-2004, una regulación más que compila elementos de la calidad y de las mediciones.



Reflexión

Como profesora de la asignatura de Aseguramiento de la Calidad, y en algún momento de la asignatura de Metrología en la Facultad de Química de la UNAM, he logrado darme cuenta de que es necesario fortalecer la enseñanza de estas dos áreas para que el estudiantado desarrolle competencias que les permitan resolver los problemas de medición que les demanda la industria, desde el uso adecuado de un informe de calibración hasta la estimación de la incertidumbre del mensurando bajo estudio. Todo bajo un procedimiento debidamente documentado. Después de todo, las dos áreas tienen un propósito común: garantizar la confiabilidad de las mediciones.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al Programa UNAM-PAPIME PE208024, “Herramientas digitales para la enseñanza de la metrología”.



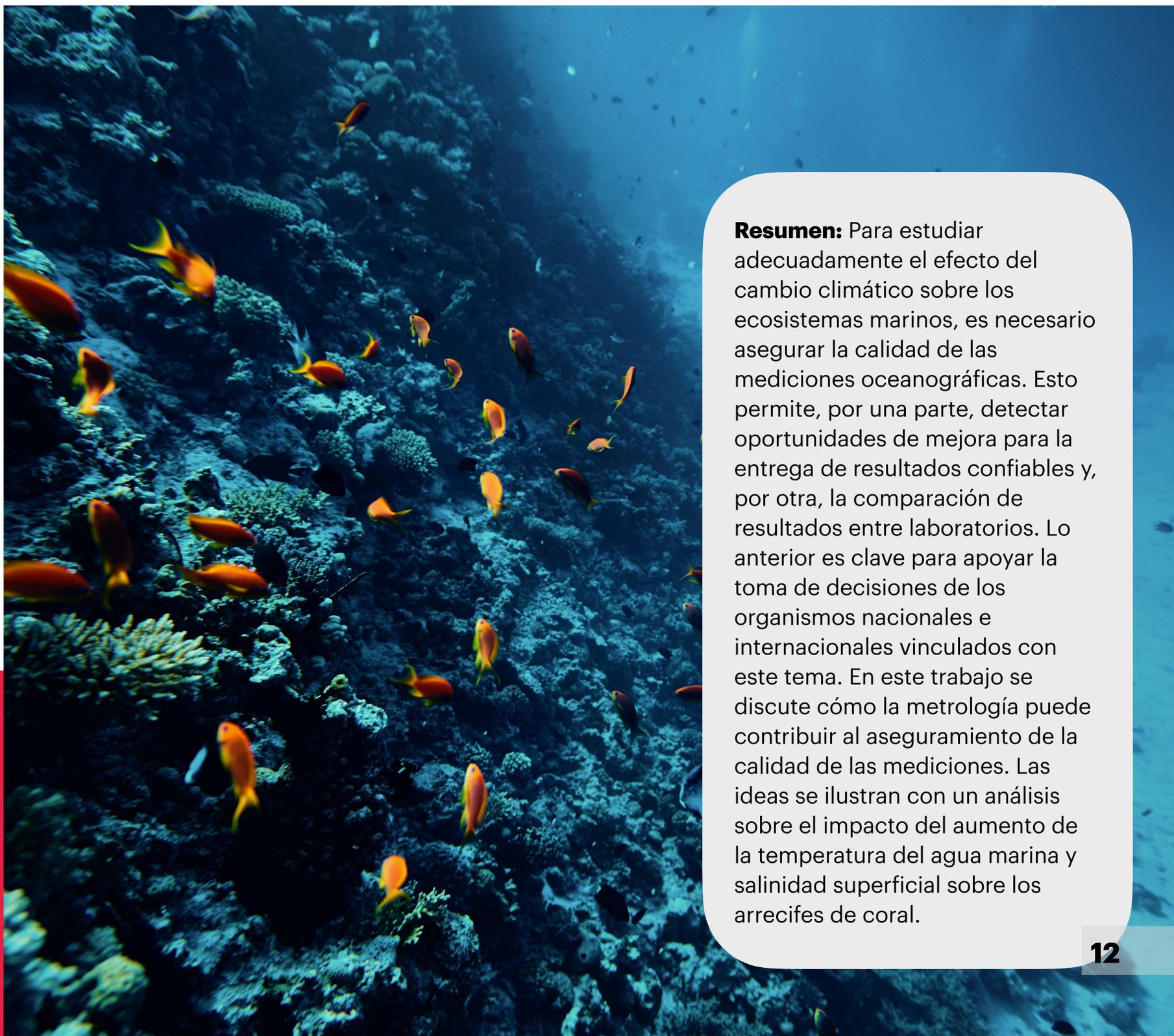
Referencias:

- [1] Congreso de la Unión. (2020). Ley de Infraestructura de la Calidad. Secretaría General. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LICaL_010720.pdf.
- [2] Clemens, S., & Marbán, R. M. (2009). Enfrentando el desafío global de la calidad: Una infraestructura nacional de la calidad. Physikalisch-Technische Bundesanstalt. https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/fachabteilungen/abteilung_9/9.3_internationale_zusammenarbeit/publikationen/102_National_QI/PTB_Q5_National_QI_SP.pdf.
- [3] ISO. (2015b). Sistemas de gestión de la calidad—Fundamentos y vocabulario (ISO 9000:2015(es)). International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/04/54/45481.html>.
- [4] Secretaría de Economía. (s/f). Organismos de Certificación. SE. <http://www.2006-2012.economia.gob.mx/comunidad-negocios/normalizacion/nacional/evaluacion-de-conformidad/programa-nacional-de-normalizacion-y-suplemento>.
- [5] ISO. (2015a). Sistemas de gestión de calidad—Requisitos (ISO 9001:2015(es)). International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/06/20/62085.html>.

Introducción al aseguramiento de la calidad de mediciones oceanográficas para evaluar los efectos del cambio climático sobre los arrecifes de coral en México

Por: Cielo Rubi Aviles Matias
Unidad de Metrología, Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma de México
ORCID: 0009-0001-9700-3608

Tonantzin Ramírez Pérez
Unidad de Metrología, Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma de México
ORCID: 0000-0003-2264-2584



Resumen: Para estudiar adecuadamente el efecto del cambio climático sobre los ecosistemas marinos, es necesario asegurar la calidad de las mediciones oceanográficas. Esto permite, por una parte, detectar oportunidades de mejora para la entrega de resultados confiables y, por otra, la comparación de resultados entre laboratorios. Lo anterior es clave para apoyar la toma de decisiones de los organismos nacionales e internacionales vinculados con este tema. En este trabajo se discute cómo la metrología puede contribuir al aseguramiento de la calidad de las mediciones. Las ideas se ilustran con un análisis sobre el impacto del aumento de la temperatura del agua marina y salinidad superficial sobre los arrecifes de coral.

Introducción

Los arrecifes de coral son comunidades marinas de aguas poco profundas cercanas a las costas [1] que sustentan la dinámica costera y ambiental. Proveen beneficios como infraestructura natural que protege las costas vulnerables de tormentas e inundaciones. Esta infraestructura da refugio a una gran diversidad de especies marinas; generan ingresos a las poblaciones que se encuentran en la costa por el turismo que se genera e incluso proveen de materias primas para medicamentos, además de otros productos y servicios [2]. Por todo lo anterior, se considera que cuentan con valores estéticos, económicos, sociales y culturales destacables. Las condiciones de temperatura para el crecimiento óptimo de estas comunidades están entre los 22 °C a 28 °C [1]. No obstante, el aumento de la temperatura del océano por efectos del cambio climático, las amenazas a la biodiversidad marina y la contaminación desmedida por actividades antropogénicas, compromete la salud de estas comunidades. Por ejemplo, de acuerdo con el Servicio Académico de Monitoreo Meteorológico y Oceanográfico (SAMMO), en la Estación Meteorológica Automática (EMA) de Puerto Morelos (EMPM), Quintana Roo, México, los valores mínimo y máximo de las mediciones de temperatura tomadas cada minuto durante el primer día de agosto del año 2018 fueron 28.4 °C y 29.4 °C, respectivamente. Estos valores están de 0.4 °C a 1.4 °C por arriba de la temperatura máxima de condiciones óptimas del crecimiento de los corales.



Por su parte, las mediciones correspondientes tomadas seis años después, el primer día de agosto del año 2024, arrojaron temperaturas mínima y máxima de 30.5 °C y 33 °C, respectivamente.



Gráfica del periodo 2018-08-01 al 2018-08-01, generada con datos del SAMMO.

Estos valores están de 0.4 °C a 1.4 °C por arriba de la temperatura máxima de condiciones óptimas del crecimiento de los corales. Por su parte, las mediciones correspondientes tomadas seis años después, el primer día de agosto del año 2024, arrojaron temperaturas mínima y máxima de 30.5 °C y 33 °C, respectivamente



Gráfica del periodo 2024-08-01 al 2024-08-01, generada con datos del SAMMO.

Estos valores están de 2.5 °C a 5 °C por arriba de la temperatura máxima de las condiciones óptimas del crecimiento de los corales. A pesar de que con estos datos no se puede determinar una tendencia, este ejemplo sugiere que, en los últimos seis años, la temperatura del agua marina ha aumentado en la zona de Puerto Morelos, lo que podría comprometer la integridad de la zona costera del puerto y su biodiversidad.

Cabe señalar que está previsto que continúe la tendencia del calentamiento mundial, puesto que el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) calcula que se producirá un incremento de entre 2.5 °C y 4.7 °C de la temperatura media mundial para 2100 en comparación con los niveles preindustriales [3] y que un considerable porcentaje de arrecifes de coral desaparezca.

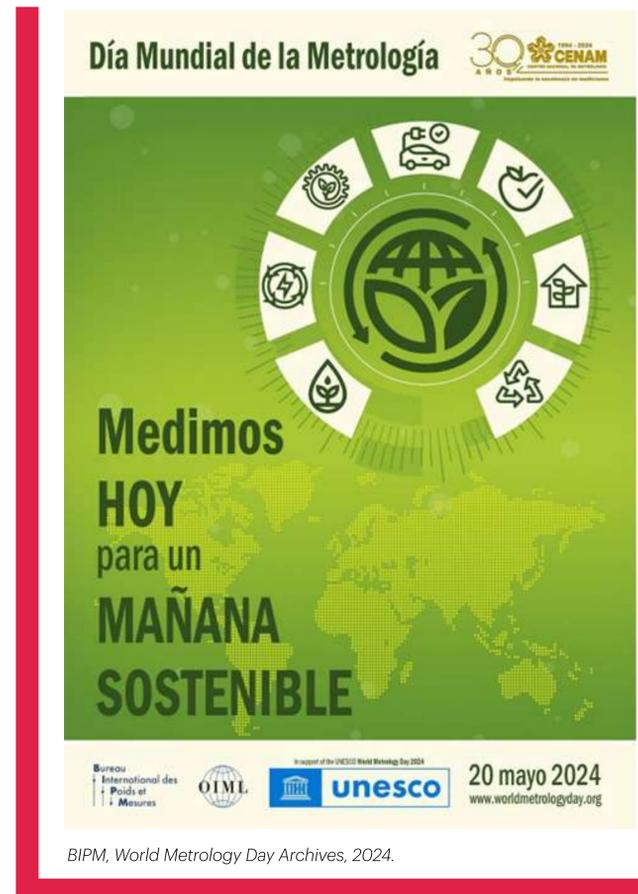
Derivado de lo anterior, se requiere del monitoreo de la calidad del agua marina, tanto de la temperatura del agua como de otros parámetros (por ejemplo, la salinidad, el oxígeno disuelto y el pH) que son decisivos para evaluar las condiciones del hábitat de los corales marinos y las zonas costeras.

En años recientes las organizaciones internacionales, como la ONU, han establecido acuerdos a favor de la protección de la biodiversidad y del medio ambiente, colocando atención especial en la calidad del agua potable y el estado de los océanos (que es el componente principal de nuestro planeta).

Metrología en acción por el cambio climático: “Medimos hoy para un mañana sostenible”

Sumar los esfuerzos desde cualquier área de conocimiento en materia de temas ambientales abre el camino a mejorar la calidad de nuestra relación con el medio ambiente, por lo que, desde el lado de la metrología, también se busca aportar a los esfuerzos internacionales para combatir el cambio climático. El Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM), que es el organismo que coordina a la metrología a nivel internacional, y la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), junto con la UNESCO, publicaron como tema para trabajar enfáticamente este año: Medimos hoy para un mañana sostenible, con el propósito de alinearse con los puntos 13 y 14: “Acción por el clima” y “Protección de la vida marina” respectivamente, de la agenda 2030 de la ONU [4].

En este marco, es de nuestro interés alinear las mediciones ambientales locales, nacionales y regionales a los esfuerzos internacionales y aterrizarlos en particular a las mediciones oceanográficas para el monitoreo de la salud de los arrecifes de coral, uno de los principales indicadores de los efectos del cambio climático.





El rol de la metrología en la fiabilidad de las mediciones ambientales

Como se mencionó anteriormente, México cuenta con el Servicio Académico de Monitoreo Meteorológico y Oceanográfico (SAMMO) que pertenece a la Unidad Académica de Sistemas Arrecifales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. Parte de este proyecto se enfoca en realizar mediciones de variables meteorológicas y oceanográficas en la zona costera de Puerto Morelos, Quintana Roo.

SAMMO es un laboratorio de mediciones meteorológicas y oceanográficas de la UNAM; tiene implementado un Sistema de Gestión de la Calidad con base en la Norma Internacional ISO 9001:2015, que en el punto 7.1.5 "Recursos de seguimiento y medición" menciona que "la organización debe determinar y proporcionar los recursos necesarios para asegurarse de la validez y fiabilidad de los resultados cuando se realice el seguimiento o la medición para verificar la conformidad de los productos y servicios con los requisitos" [5]; es decir, que requiere que los equipos sean adecuados para su propósito, pero no se imponen requerimientos técnicos.

Parte de las mediciones de variables oceanográficas que se registran en SAMMO se realizan con instrumentos multiparamétricos



Sonda multiparamétrica Hanna HI98194, tomada de la página de Hanna Instruments.

para los que, como para cualquier instrumento, se tiene la necesidad de conocer la confiabilidad de sus mediciones. Para otorgar esta confiabilidad, SAMMO ha documentado el tipo y grado de control que tiene sobre sus instrumentos de medición. En dos de sus procedimientos técnicos SAMMO indica el tipo y grado de control que tiene sobre sus instrumentos. Sin embargo, la norma ISO 9001 se enfoca más en la gestión de calidad a nivel organizacional y en la mejora continua que en requisitos técnicos de laboratorios de ensayo, como lo es SAMMO. Para este caso, es más adecuada la norma internacional ISO/IEC 17025:2017, que establece los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, cuyo objetivo es asegurar la competencia técnica de este tipo de laboratorios, la validez y la trazabilidad de los resultados que emiten [6].

Análisis de procedimientos técnicos

Derivado de lo anterior, se propuso a los responsables del programa hacer un análisis sobre los controles que dan fiabilidad a los resultados de las mediciones de temperatura del agua y salinidad (conductividad), con base en el punto 7 “Requisitos del proceso” de la norma ISO/IEC 17025:2017 (Tabla 1) y que, a partir de este punto, se empezara a construir el andamiaje necesario para fortalecer los resultados de medida.

Tabla 1. Análisis sobre los controles para las mediciones de temperatura del agua y salinidad superficial, realizadas por SAMMO, considerando puntos técnicos de la norma ISO/IEC 17025:2017.

Pregunta de análisis	Magnitud		Punto en la norma ISO/IEC 17025:2017
	Temperatura del agua	Salinidad (Conductividad)	
¿Cuál es la fuente de trazabilidad de las mediciones?	<i>Termómetro de mercurio</i>	<i>YSI 3168 Conductivity Calibrator (10,000 S/cm ±1% a 25°C)</i>	6.5.2
¿Cuál es el criterio de aceptación de estas mediciones? Por ejemplo: - Intervalo de aceptación de la medición - Incertidumbre objetivo	<i>El termómetro de mercurio está graduado a 0.2 °C por lo que tenemos una incertidumbre ± 0.1 °C</i>	<i>La del calibrador ± 1%</i>	7.8.6
¿En qué documento se basa el criterio de aceptación?	<i>Tenemos un “Procedimiento de Medición de Variables Meteorológicas y Oceanográficas SAMMO-P01</i>	<i>Tenemos un “Procedimiento de Medición de Variables Meteorológicas y Oceanográficas SAMMO-P01</i>	7.8.6
¿El equipo se encuentra calificado o calibrado?	<i>Está calibrado de fábrica y solo intercomparamos las mediciones.</i>	Sin respuesta	6.4.4
¿Cuál es el periodo de calibración del equipo?	<i>Se está estimado el uso del sensor por dos años</i>	Sin respuesta	6.4.6, 6.4.7
¿Cuál es el período de verificación del equipo? (Comprobaciones intermedias)	<i>Se realiza limpieza del sensor mensualmente Se toma dato para comparar diariamente los días hábiles.</i>	<i>Se realiza limpieza del sensor mensualmente. Se toma lectura con buffer aprox cada 6 meses.</i>	6.4.10
¿Se realiza la confirmación metrológica de estas mediciones?	<i>Solo con el dato puntual</i>	<i>Solo con los calibradores</i>	6.4.5
¿Se realiza algún ajuste para las mediciones?	<i>No</i>	<i>No</i>	6.4.12
¿Se realiza la corrección de las medidas utilizando los resultados de los informes de calibración?	<i>No</i>	<i>No</i>	6.4.12
¿Los instrumentos tienen una identificación única?	<i>Sí</i>	<i>Sí</i>	6.4.8
¿El método está normalizado?	Sin respuesta	Sin respuesta	7.2.1.1
¿El método está validado?	<i>No</i>	<i>No</i>	7.2.1
¿Se tiene un plan de muestreo?	<i>Si</i>	<i>Si</i>	7.3.1
¿Se cuenta con registros técnicos?	<i>Si</i>	<i>Si</i>	7.5.1

Nota. En color azul se encuentran las respuestas de las personas responsables de SAMMO.

En general, con este ejercicio se logra resaltar que el aseguramiento de la calidad de las mediciones oceanográficas es un tema que se tiene que explorar y trabajar enfáticamente por parte de la comunidad metrológica en conjunto con los laboratorios que realizan mediciones ambientales. Por ejemplo, de acuerdo con el catálogo de proveedores de servicios de ensayos de aptitud de la entidad mexicana de acreditación (ema) (<https://www.ema.org.mx>), para instrumentos multiparamétricos en magnitudes como temperatura, medición de potencial de hidrógeno (pH), medidor de conductividad electrolítica y profundidad, solo se cuenta con un proveedor en magnitudes especiales aplicados a estos instrumentos. Sin embargo, no hay ensayos de aptitud para oxígeno disuelto en agua, lo que significa que las oportunidades de mejora que pueda atender el sistema SAMMO para fortalecer la parte técnica, no solo depende de que se implementen en el laboratorio sino también que los servicios de metrología cuenten con el alcance necesario para sus actividades.

Es importante exponer que los elementos más complejos de implementar en un Sistema de Gestión de la Calidad acorde con la norma ISO 9001, son los referentes al proceso técnico. Jorge Torres-Guzmán, del Centro Nacional de Metrología, en el artículo “Aseguramiento de la calidad en las mediciones de fuerza (2016)” menciona que en el “Foro Mundial de Actualización ISO-9000 ISO-14000 QS-9000” llevado a cabo en Acapulco, México, en mayo de 1996 concluyó que uno de los elementos de mayor incidencia de no conformidades, de los 20 que era necesario cumplir en aquel momento para obtener la certificación en la norma ISO 9000, era el 4.1, “Control de los equipos de inspección, medición y prueba” [7]. Este rubro equivale al punto 7.1.5.2, “Trazabilidad de las mediciones” de la ISO 9001 en su versión vigente. Es de destacar que, a casi 30 años de identificar esta problemática entre las organizaciones, todavía se observa la incidencia de esta no conformidad. De esta reflexión se desprende la necesidad de empezar a tomar acción en la mejora técnica de las organizaciones.

Por otro lado, en conversación con el personal de SAMMO mencionaron que, debido a la falta de laboratorios que calibren las sondas que utilizan, las reemplazan cada dos años; esto implica la compra de sondas multiparámetros, cuyos costos van desde los \$30,000.00 MXN hasta los \$140,000.00 MXN, aproximadamente (<https://hannainst.com.mx/>), lo que, además de implicar un gasto económico, también tiene consecuencias ambientales por el aumento de residuos eléctricos y el seguimiento de su gestión integral, sin mencionar la energía implicada en la fabricación y transporte de los nuevos equipos. No obstante, ésta ha sido la forma en la que SAMMO ha encontrado que pueden garantizar la confiabilidad de las mediciones oceanográficas.

Conclusiones y perspectivas

El primer paso para salvaguardar la integridad ecosistémica de los arrecifes de coral por efectos del cambio climático es poner la lupa sobre la problemática desde cualquier área que pueda aportar una solución a este problema. Desde la metrología se aportan elementos para dar fiabilidad a las mediciones oceanográficas, factor que puede ser concluyente en la toma de decisiones regionales, nacionales e internacionales para crear leyes y acuerdos en política de protección ambiental para los sistemas arrecifales.

Se detectaron oportunidades de mejora para los procedimientos técnicos de SAMMO, que de implementarse pueden coadyuvar en mejorar la toma de decisiones para la selección de proveedores de instrumentos de medida y de servicios de calibración, así como para establecer periodos de verificaciones intermedias y, en general, mejorar la confiabilidad de esas mediciones.

Se proponen estrategias para profundizar el conocimiento en Metrología: (1) Iniciar con talleres, seminarios y charlas referentes a la difusión y al estudio de la Metrología; (2) A partir de este aprendizaje, empezar a implementar el manejo correcto del vocabulario metrológico, el uso de materiales de referencias certificados, la realización de ensayos de aptitud, así como el establecimiento de periodos de calibración y de verificaciones intermedias, con requisitos específicos de acuerdo con el tipo de medición, entre otras actividades. Lo anterior permitirá contar con reconocimiento mutuo entre pares de laboratorios que realicen estas mediciones y garantizar que no existan impedimentos técnicos para la aceptación internacional.

Agradecimientos

A los responsables de SAMMO por su valiosa colaboración y apoyo. Este trabajo fue realizado gracias al Programa UNAM-PAPIME PE208024, “Herramientas digitales para la enseñanza de la metrología”.

Referencias:

- [1] Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2022). Arrecifes. En Biodiversidad Mexicana. <https://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/arrecifes>
- [2] ONU. (2024). Importancia de proteger los arrecifes de coral. UNEP. <https://www.unep.org/es/explore-topics/oceans-seas/nuestras-actividades/proteccion-de-los-arrecifes-de-coral/importancia-de#:~:text=Las%20estimaciones%20indican%20que%20los%20arrecifes%20de%20coral,incluso%20materias%20primas%20para%20medicamentos%20que%20salvan%20vidas.>
- [3] Marcia Creary. (s/f). Efectos del Cambio Climático Sobre Los Arrecifes de Coral Y el Medio Marino. ONU. <https://www.un.org/es/chronicle/article/efectos-del-cambio-climatico-sobre-los-arrecifes-de-coral-y-el-medio-marino>
- [4] BIPM. (s/f). <https://www.bipm.org/en/>
- [5] ISO. (2015). Sistemas de gestión de calidad—Requisitos (ISO 9001:2015(es)). International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/06/20/62085.html>
- [6] ISO. (2017). Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración (ISO/IEC 17025:2017(es)). International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/06/69/66912.html>
- [7] Torres-Guzmán, J. C., & Ramírez-Ahedo, D. A. (1998, octubre). Aseguramiento de la calidad de las mediciones de fuerza. Memorias del XV Seminario Nacional de Metrología. <https://www.researchgate.net/publication/242647798>.

¿Sabías qué?

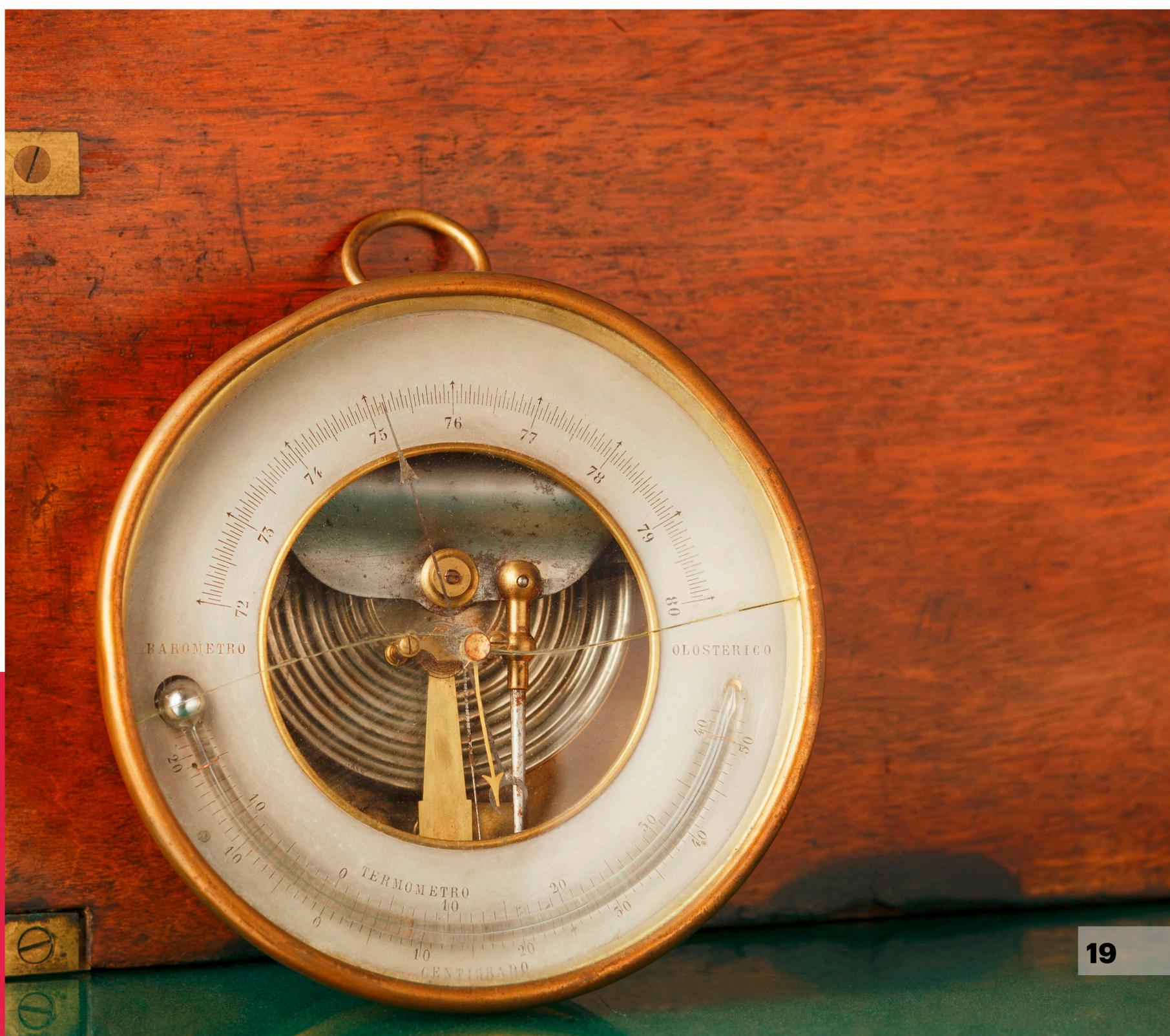
La temperatura del mar necesita mediciones de alta exactitud.

Un error de solo 0,1 °C puede cambiar los patrones climáticos, alterando el equilibrio en la naturaleza. Por eso se usan sensores calibrados y trazables a patrones internacionales.

Metrología: un panorama de introducción

Por: Tonantzin Ramírez Pérez
Unidad de Metrología, Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma de México
ORCID: 0000-0003-2264-2584

M. Teresa Flores-Martínez
Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma de México
ORCID:0009-0009-2524-9025



¿Qué es la metrología?

Metrología. Una palabra que, si la definimos desde su etimología griega, nos dice que es la ciencia de las mediciones. Por otro lado, en el Vocabulario Internacional de Metrología, conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (VIM) [1], está definida como la ciencia de las mediciones y sus aplicaciones. Sin embargo, ambas suenan amplias y ambiguas.

¿Cómo podemos conectarnos con esta palabra?

Pensemos en por qué nos interesa medir, qué esperamos del resultado de una medición. Y es que convivimos con las mediciones todos los días; cuando compramos comida, queremos que el precio que pagamos corresponda a lo que estamos pidiendo; cuando hacemos ejercicio, para conocer nuestro rendimiento; cuando programamos el despertador, para levantarnos a tiempo; y muchos ejemplos más en lo individual. Otros pueden pasar un poco más desapercibidos para nosotros, pero ahí están; por ejemplo, el pago de la luz con base en lo que indica un medidor, que aun cuando la cuenta del recibo es una caja negra, podríamos verlo como una oportunidad para el ahorro de energía y la disminución de la cuenta por pagar [2]; los análisis previos para sacar a la venta un medicamento. Incluso, también a nivel de los países, para el comercio internacional: el movimiento en la bolsa de valores en donde el tiempo resulta crítico; el pago de un arancel; y la identificación de una ventaja competitiva como la entrega de un producto o servicio definido en su relación calidad-precio. Por otro lado, en estos tiempos en los que nos encontramos a nivel mundial en búsqueda de la sostenibilidad, la metrología en temas como la presión es fundamental para la eficiencia energética, la reducción de emisiones al ambiente, la conservación de los recursos naturales y para garantizar la seguridad y fiabilidad de los sistemas y procesos. [3] Por último, podemos considerar el deporte de alto rendimiento, en donde se requieren mediciones de alta exactitud para competencias como los 100 m planos, en la cual las milésimas de segundo hacen la diferencia para ganar, o no, el oro olímpico. [4]

Entonces ¿A qué se dedica la metrología?

Con estos ejemplos como marco de referencia, podemos empezar a ver a qué se dedica esta ciencia de las mediciones. Podemos dividir el quehacer de la metrología en cinco grandes rubros [5]:

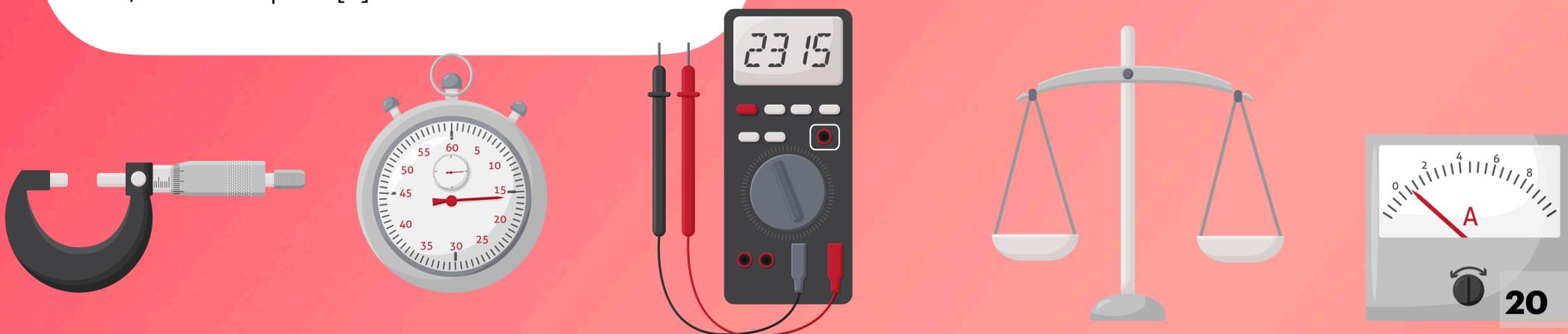
- ✓ El sistema de unidades de medida.
- ✓ Los patrones, métodos y técnicas de medición, y su evolución.
- ✓ La valoración de la exactitud de las mediciones, su mejora y su desarrollo constante.
- ✓ El estudio de las propiedades medibles.
- ✓ La trazabilidad metrológica.

Para cubrir estos rubros, la metrología se divide en tres ramas:

- Metrología científica. Se dedica a desarrollar patrones y sistemas de medición cada vez de mejor exactitud. Por ejemplo, el cambio de las definiciones del Sistema Internacional de Unidades.
- Metrología legal. Se dedica a desarrollar la normatividad para establecer los límites de los errores. Se vuelve muy tangible en las transacciones comerciales, sobre todo las internacionales.
- Metrología industrial. Relacionada con las actividades productivas, por ejemplo, el control de la temperatura en el empaquetado de alimentos.

La participación de cada una de estas partes nos da confianza mutua a través de mediciones confiables y contribuye al desarrollo de la ciencia, tecnología e investigación, control de los procesos, protección al medio ambiente, gestión de la energía y los recursos naturales.

Bajo este contexto, podemos reconocer que la metrología adquiere un papel fundamental en una sociedad y que su desarrollo se vuelve tarea de todos los sectores.



¿Y cómo logramos esto? ¿Cómo una ciencia que se dedica a las mediciones nos puede ayudar?

Pongamos un ejemplo concreto. A una persona a la que queremos mucho le acaban de diagnosticar diabetes. Sabemos que en nuestro país es una enfermedad cuya prevalencia va en aumento. ¿Qué hay detrás de ese diagnóstico?

Tuvo que ser el resultado de análisis clínicos. ¿Cómo sabemos que el resultado es confiable? Sabemos que este es un caso en el que las decisiones siguientes van a depender de lo que entreguen los laboratorios. ¿Qué tenemos en el país que pueda darnos esos elementos de confiabilidad?

En México contamos con la Ley de Infraestructura de la Calidad y su Reglamento. [6] En ella se establece que a nivel nacional debemos desarrollar las bases para actividades de normalización, estandarización, acreditación, evaluación de la conformidad y metrología, con el fin de promover el desarrollo económico y la calidad en la producción de bienes y servicios.

¿Cómo podemos llevar esta infraestructura de la calidad al caso de los análisis clínicos? Los laboratorios de esta naturaleza tienen que demostrar que las personas involucradas en el análisis tienen la competencia técnica para hacerlo, que los instrumentos están calibrados, es decir que podemos conocer cuál es el error con el que entregan una lectura y que se corrigen esos errores, que los reactivos que se utilizan sean del grado de pureza que se requieren y que el resultado que se entrega es trazable, es decir, que a través de comparaciones podemos llevar el resultado de la medición a un patrón nacional o internacional. La demostración de todo este proceso se realiza ante una entidad que tiene la competencia para evaluar a los laboratorios y que se conoce como entidad acreditadora.

Otro ejemplo. En 2020, México exportó a Estados Unidos de América poco más de 1 millón 134 mil toneladas de aguacate, considerando el fruto entero en fresco, guacamole y pulpa. El valor comercial anual conjunto de los productos fue de mil 579 millones de dólares. Si comparamos estas ventas con las de 2015, creció en 21.8 % en valor [7]. Para que este crecimiento se pudiera dar primero fue necesario crear un sistema que permitiera cumplir con la regulación del país al que se exporta, tener una campaña contra plagas reglamentadas del aguacatero [8], además de un método validado que permitiera evaluar si la cantidad de plaguicida remanente estaba dentro del máximo permitido por las autoridades y normatividad del país destino. Para el cumplimiento de todas estas actividades, desde la metrología, con el Centro Nacional de Metrología (CENAM) como responsable técnico del proyecto [9] se desarrollaron materiales de referencia certificados, se validaron los métodos y se capacitó a las personas para que pudieran realizar los análisis que se requerían, además de que pudieran participar en ensayos de aptitud con la finalidad de que se demostrara la competencia técnica de las personas que realizaban las actividades fundamentales.

De acuerdo con Vera [10], el reclamo de “litros de a litro” en la gasolina es un recordatorio de que el uso de las medidas lleva implícita una idea de cómo deben ser las relaciones entre las personas, pero es también la muestra de que la garantía de igualdad no reside únicamente en las medidas de objetos o convenciones, sino en la efectiva paridad entre los individuos y la acción del estado para hacer efectivas las leyes de pesas y medidas. La falta de capacidad para imponer la legislación que regula el uso de las medidas ha sido una de las notas constantes en el siglo y medio que ha pasado desde que se decretó la primera ley que hacía de las métricas las únicas medidas legales en el país.

Desde otro punto de vista, el Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) tiene el eslogan Para todos los pueblos, para todos los tiempos. Si alguien se preguntara cuál es la importancia del sistema métrico en la actualidad, podría contestarse que se trata de un código compartido que permite la colaboración humana a larga distancia, algo crucial en una época donde los destinos de las personas y los países están cada vez más influenciados por lo que sucede en lugares alejados entre sí. La humanidad tiene cada vez más tareas comunes y necesita maneras efectivas de entenderse y actuar en conjunto [10].

Este año, a 150 años de la firma del Tratado del Metro, reconocemos que el avance de la tecnología, la investigación y la ciencia, se debe en gran parte a las mediciones, a la forma en la que se hacen y a la confianza que tenemos en un resultado de medida. En el marco de este aniversario, el Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) prepara los festejos con una serie de elementos que nos harán reflexionar sobre cómo las mediciones nos ayudan a mejorar nuestra calidad de vida, promueven el comercio justo, estimulan la innovación, y sustenta los objetivos del desarrollo sostenible [11]

¿Qué estamos haciendo desde la academia?

Actualmente existe una gran demanda de metrologos que cuenten con los conocimientos y la capacitación adecuados. Esto debido a las necesidades de la industria, así como de la investigación y el desarrollo en metrología y áreas relacionadas, razón por la cual hoy en día existen varios programas de educación superior y media superior que contemplan a la metrología en sus planes de estudio.

Entre ellos podemos citar:

Las asignaturas Metrología y Metrología, Normalización y Calidad, en quinto y sexto semestre de las licenciaturas Química y Química e Ingeniería en Materiales de la Facultad de Química de la UNAM respectivamente. En ambos casos se encuentran como cursos obligatorios teórico-experimentales en el ciclo fundamental de la profesión.

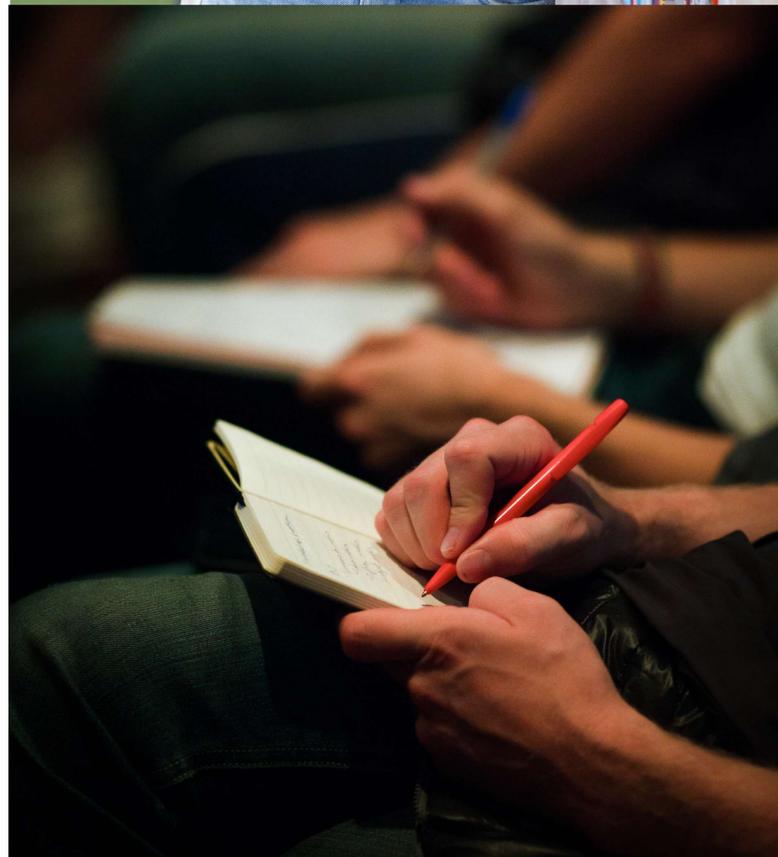
La licenciatura en Ingeniería en Sistemas Automotrices del Instituto Politécnico Nacional (IPN), considera en el semestre V la asignatura de Metrología y Normalización; dicha ingeniería se imparte en cuatro campus de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME), así como en tres campus de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería (UPII).

Algunos otros planes de estudio consideran a la Metrología como una materia optativa. Tal es el caso de la carrera de Ingeniería Química Industrial de la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQIE) del IPN, donde la asignatura Metrología es una de las optativas en el nivel IV de dicha ingeniería. O la Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica de la ESIME, impartida en dos de sus campus, donde Metrología Acústica es una materia optativa de la opción Acústica del semestre VIII. También la asignatura Metrología y Normalización es parte de las optativas de la etapa disciplinaria en la Ingeniería en Nanotecnología de la Universidad Autónoma de Baja California.

Adicionalmente, el Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos No. 17 (CECyT no. 17), dentro de su modalidad escolarizada, cuenta con el Programa académico de Técnico en Metrología en Control de Calidad que pretende la aplicación y control de procedimientos para la calibración de instrumentos utilizados en la industria metal-mecánica con base a normas establecidas.

Sin embargo, sólo son dos las universidades que ofrecen los conocimientos sobre metrología como licenciatura: Ingeniería en Metrología Industrial, de la Universidad Politécnica Santa Rosa, y la Ingeniería en Metrología y Calidad, de la Universidad Politécnica de Guanajuato, ambas con diez cuatrimestres. La finalidad de estas licenciaturas es formar profesionales capaces de mejorar, diseñar, desarrollar e implantar sistemas de medición y programas de aseguramiento metrológico.

Por su parte, el Centro Nacional de Metrología (CENAM), el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI) y la entidad mexicana de acreditación (ema), ofrecen cursos de capacitación de manera regular.

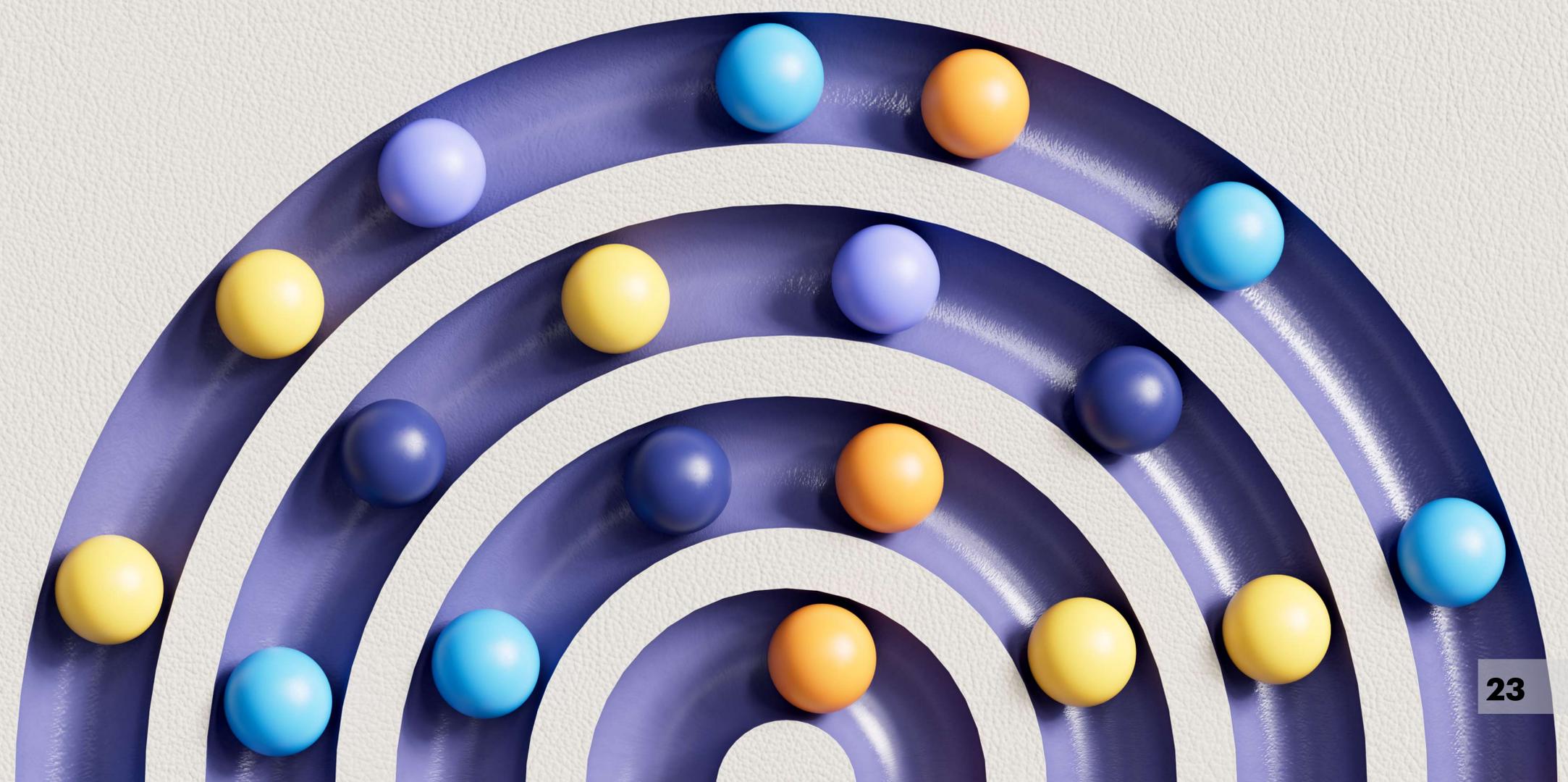


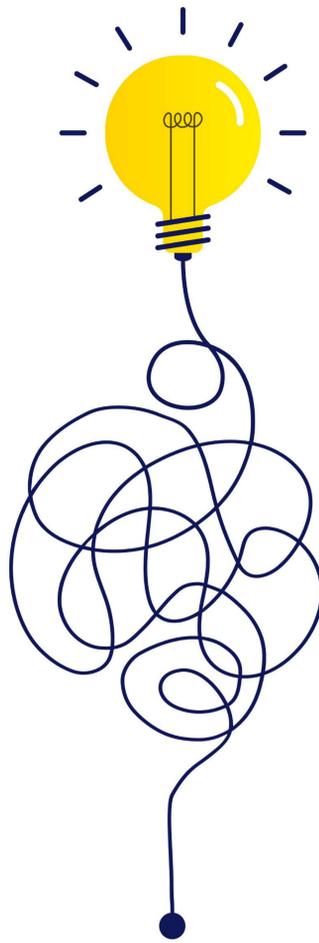
Formando una cultura metrológica para el progreso

Específicamente, dentro de la Facultad de Química de la UNAM queremos desarrollar, en quienes están estudiando, la consciencia de que las mediciones propician el desarrollo de la actividad humana, que las mediciones han definido cómo es una sociedad, un gobierno y, por tanto, el progreso de los pueblos. Tener en cuenta que un gobierno legisla en materia de metrología, favorece la confianza en los resultados de medida, evita conflictos de intereses entre pares y resultados incorrectos que puedan afectar a una sociedad, y permite corroborar que las características de los productos sean correctas (evaluación de la conformidad). Por eso, para medir bien necesitamos considerar: Qué es lo que queremos medir, con qué lo vamos a medir, cuál es el procedimiento para medirlo, en dónde lo vamos a medir, quién lo va a medir, qué normatividad le aplica y, finalmente, medirlo. Después de la medición debemos tener en cuenta: el modelo matemático, estudiar su comportamiento, conocer qué influye en la medición y estimar su incertidumbre con las mejores herramientas que se puedan aplicar a esa medición. Por último, interpretar el resultado.

Sin embargo, la necesidad de fortalecer esta área de la ciencia nos ha demandado hacer otros esfuerzos para difundir la cultura metrológica y que vaya permeando en toda nuestra sociedad. Una de estas actividades puede ser foros en los que se puedan reunir opiniones de la academia, la industria y la sociedad en general. Es decir, que entre estos tres sectores se puedan discutir los desafíos que estamos encontrando para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje, las necesidades que tiene la industria para que una persona que se integra al mercado laboral tenga las herramientas necesarias para desempeñarse adecuadamente y, finalmente, cómo esto repercute en que la sociedad tengamos productos y servicios que cumplen con la normatividad aplicable, en términos de desempeño, seguridad, ambiental, entre otros.

Por estas razones se convocó al 1er Encuentro de Metrología. La Metrología en la Academia, la Industria y la Sociedad. A lo largo de este evento se abordaron temas para dar un panorama de cómo interactúan las ramas de la metrología, su papel en la infraestructura MAN (metrología, acreditación y normalización); y cómo es que la metrología es útil para garantizar la calidad de un producto o servicio, apoyar el comercio, mejorar la seguridad, aumentar la eficiencia, generar avances en la investigación y monitorear el cambio ambiental, entre otras, sabiendo que para hacer crecer a la metrología en nuestro país requerimos de la participación de la academia y de la industria en favor de la sociedad, que, con mejor formación podemos ser también, mejores usuarios.





Para reflexionar:

Dentro de la metrología científica, el progreso en el avance de la capacidad de medición nos lleva a desarrollar y mejorar las capacidades disponibles en el país. La metrología entonces se vuelve fundamental para potenciar y apoyar procesos de innovación tecnológica y desarrollo industrial y nos ayuda a:

- ✓ Mejorar la calidad de los productos, a partir de la mejora de las mediciones y métodos de control.
- ✓ Aumentar la competitividad. Promueve el desarrollo de sistemas de medida, análisis y ensayo y proporciona instrumentos de medida para la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i).
- ✓ Disminuir pérdidas por defectos (pocos rechazos).
- ✓ Asegurar la intercambiabilidad de las partes y componentes a través de medidas trazables. Mayor normalización internacional.
- ✓ Proporcionar confianza en los productos a través de las mediciones realizadas con incertidumbres reducidas y conocidas, y la utilización de procedimientos apropiados de evaluación de la conformidad.
- ✓ Reconocimiento y aceptación de productos en los distintos mercados (mercado globalizado).
- ✓ Generar conocimiento.
- ✓ Impulso de la Industria 4.0 [12]

Es por esto que les exhortamos a que incluyan a la metrología en sus actividades académicas, de investigación, industriales, e incluso de la vida cotidiana. A todas aquellas personas interesadas en desarrollarse en el campo de las mediciones, les invitamos a que se especialicen en el área de la metrología. Nuestra sociedad necesita recursos humanos preparados, capaces de diseñar e implementar sistemas de medición confiables, así como de difundir la cultura metrológica.

Referencias:

- [1] Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados (2012). 3ª edición en español.
- [2] Revista ¡De acuerdo! (2017). Vivir solo ¿Cómo ahorrar energía? <https://www.revistadeacuerdo.org/2017/05/17/vivir-solo-como-ahorrar-energia/>
- [3] Revista e-medida (2024). Contribución de la metrología de presión a la sostenibilidad. <https://www.e-medida.es/numero-25/contribucion-de-la-metrologia-de-presion-a-la-sostenibilidad/>
- [4] La Nación (2024). Juegos Olímpicos | Ni la cabeza de Lyles, ni el pie de Thompson: cómo se decidió la carrera de los 100 metros más ajustada de la historia. <https://www.lanacion.com.ar/deportes/juegos-olimpicos-ni-la-cabeza-de-lyles-ni-el-pie-de-thompson-como-se-decidio-la-carrera-de-los-100-nid05082024/>
- [5] La Metrología También Existe (2019). Madrid: Centro Español de Metrología.
- [6] CONAMER (2020) Ley de Infraestructura de la Calidad. 01 de julio de 2020. <https://catalogonacional.gob.mx/FichaRegulacionid?regulacionId=5570>
- [7] SIAP, Secretaría de agricultura y desarrollo rural (2022) https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/701280/BROCHURE_AGUACATE_22.pdf
- [8] SENASICA (2016) Evaluación de la CAMPAÑA CONTRA PLAGAS REGLAMENTADAS DEL AGUACATERO, operada con recursos del Componente de Sanidad del Programa de Sanidad e Inocuidad Agroalimentaria 2015, en los estados de Colima, Guanajuato, México, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro y Nuevo León https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/240103/Evaluacion_Nacional_CPRaguacate_2015.pdf&ved=2ahUKewi8-4Pc5dyIAxWAMjQIHWirCMEQFnoECBUQAQ&usq=AOvVaw11jAPWdYXLRLXE3Mr1QP
- [9] CENAM (2016). <https://www.gob.mx/cenam/articulos/presenta-el-cenam-informe-final-del-proyecto-desarrollo-de-material-de-referencia-de-plaguicidas-en-aguacate-para-asegurar-la-calidad-de-exportacion?idiom=es>
- [10] Vera, H. (2007) A peso el kilo: Historia del sistema métrico decimal en México. México, D.F: Libros del Escarabajo.
- [11] BIPM (2025). 150th Anniversary of the signing of the Metre Convention. <https://www.bipm.org/en/bipm-anniversary>
- [12] CENAM (2024) Estrategia de transformación digital: Construyendo las bases para transformar el entorno. <https://www.gob.mx/cenam/es/articulos/estrategia-de-transformacion-digital-construyendo-las-bases-para-transformar-el-entorno?idiom=es>

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al Programa UNAM-PAPIME PE208024, “Herramientas digitales para la enseñanza de la metrología”.

Metrología en Acción: Cómo la calificación de equipos HPLC/MS asegura datos confiables

Por: Kevin Adrián Mora Chávez
Unidad de Metrología, Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma de México
ORCID: 0009-0009-7173-585X

Tonantzin Ramírez Pérez
Unidad de Metrología, Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma de México
ORCID: 0000-0003-2264-2584



Introducción

La precisión en el análisis científico es esencial para garantizar la confiabilidad de medicamentos, alimentos y productos industriales, lo que impacta directamente en la salud, seguridad y economía de los consumidores. Equipos de alta tecnología como los cromatógrafos de líquidos acoplados a espectrometría de masas (HPLC/MS) desempeñan un papel crucial en sectores como el farmacéutico, alimentario y ambiental, en donde se requiere un control riguroso de las mediciones [1]. La calificación, es un proceso que asegura el correcto funcionamiento y la confiabilidad de los resultados de los equipos, es fundamental para minimizar errores que puedan derivar en sanciones, pérdidas económicas o riesgos para los usuarios finales [2].

Ejemplos recientes subrayan la relevancia de esta práctica. En 2018, un lote de medicamentos fue retirado del mercado mexicano por la presencia de impurezas tóxicas no detectadas debido a fallos en la calificación de los equipos HPLC/MS [3]. En el ámbito alimentario, la exportación de productos agrícolas como el aguacate y el jitomate depende de que las mediciones de contaminantes sean precisas y que garanticen que el producto cumple con los límites permisibles para plaguicidas. Mientras que, en 2021, el estado de Querétaro enfrentó problemas con la calidad del agua potable debido a la presencia de arsénico, lo que requirió de mediciones realizadas en equipos HPLC/MS calificados para la toma de decisiones [4]. La correcta implementación de estos procedimientos asegura que, tanto consumidores nacionales como internacionales, puedan confiar en la calidad de los productos y servicios que ofrece el país.



Principio de la espectrometría de masas.

La espectrometría de masas (MS) es una técnica analítica utilizada para identificar y cuantificar compuestos químicos mediante la medición de la relación masa-carga (m/z) de sus iones. El proceso comienza con la ionización de las moléculas en una muestra, transformándose en iones cargados, que luego son separados en función de su masa mediante un campo magnético o eléctrico, los iones son detectados, y los datos obtenidos permiten determinar la composición molecular de la muestra. Esta técnica es ampliamente utilizada, debido a su capacidad para ofrecer alta sensibilidad, precisión y especificidad en la identificación de compuestos [5]. Un tipo de espectrómetros de masas son los de ionización por electroespray con acoplamiento a un tiempo de vuelo (ESI-TOF, por sus siglas en inglés), como el que se muestra en la Figura 1 en la se describen algunos de sus componentes en conjunto con un HPLC. En estos equipos, para que se pueda detectar y medir la cantidad de una molécula, se necesita que esté cargada (ESI), ya se positiva o negativamente, y, que por diferencia de masa molecular pueda ser detectada por la distancia que recorre dentro del tubo de vuelo (TOF); el cual se conoce como un equipo de alta resolución por su capacidad de dividir 1 uma en 5000 fragmentos.

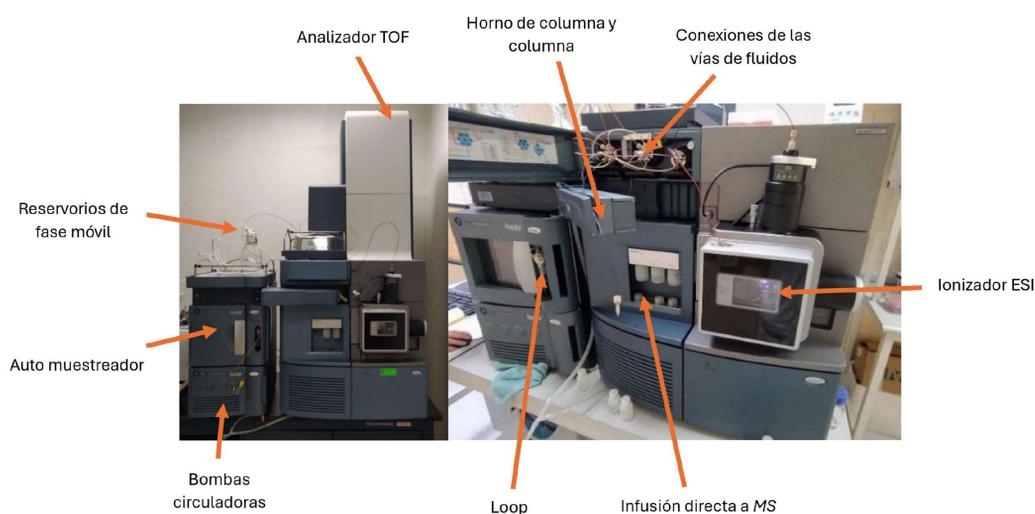


Figura 1. Partes que conforman un equipo de HPLC-MS. Créditos de la imagen: Kevin Adrián Mora Chávez

Detector UV-Vis

Los detectores UV-Vis funcionan midiendo la cantidad de luz absorbida por un compuesto en las regiones ultravioleta (de 190 nm a 400 nm) y visible (de 400 nm a 700 nm) del espectro electromagnético. Los compuestos absorben luz a longitudes de onda específicas de acuerdo con su estructura molecular, lo que permite su identificación y cuantificación [6].

Confiabilidad de las mediciones

Para garantizar el funcionamiento adecuado de un equipo se requiere de un control metrológico que indique el estado en el que se encuentra y si es útil para el propósito.

Estas pruebas en conjunto se llaman calificación. El proceso de calificación tiene 4 etapas que son sucesivas y si una no es aprobada, no se puede continuar con las subsecuentes, Las etapas son: Calificación de diseño (CD), Calificación de instalaciones (CI), Calificación de operación (CO), y, Calificación de desempeño (C de D) [7].

Límites aceptados para la calificación

Las primeras dos etapas se llevan a cabo generalmente una vez, en el proceso de compra e instalación del equipo. Sin embargo, se pueden volver a llevar a cabo si existen cambios mayores en el equipo. Las últimas dos etapas se deben llevar a cabo a intervalos regulares, dependiendo del instrumento analítico y el uso que se le dé, esto con el fin de proporcionar una referencia con la que el equipo pueda ser evaluado continuamente.

Por todo lo anterior el desarrollo de un procedimiento de calificación es una necesidad en México, debido a que el país solo cuenta con una estructura general de una calificación en la FEUM, pero no es específica para esta clase de equipos.

En este trabajo se desarrolló un procedimiento de calificación en concordancia con la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) en el anexo 1 y 7 de la directriz de la red OMCL "Calificación del Equipo".

En la Tabla 1 se muestran las pruebas que corresponden al sistema HPLC y detectores UV-Vis. Las pruebas mostradas forman parte de la calificación de operación. Las pruebas efectuadas al detector de múltiples longitudes de onda también son aplicables para la calificación de desempeño, sin embargo, para esta etapa se usa una sustancia que sea parte de las que se analizan de rutina en ese equipo.

Tabla 1. Límites aceptados propuestos para equipos HPLC por la red OMCL anexo 1 "calificación de equipos"

Sistema	Parámetro revisado	Criterios típicos de aceptación
Sistema de entrega de solvente	<ul style="list-style-type: none"> ● Exactitud del flujo (HPLC) ● Precisión del flujo (HPLC) ● Precisión de la composición del gradiente ● Oscilación del gradiente 	<p>± 3.0 %</p> <p>*DER ≤ 1.0%</p> <p>± 2.0 %</p> <p>≤ 0.2 %</p>
Inyector	<ul style="list-style-type: none"> ● Precisión del volumen (HPLC) ● Arrastre ● Linealidad y exactitud de la inyección 	<p>*DER ≤ 1.0%</p> <p>≤ 0.2%</p> <p>Linealidad $r^2 \geq 0.9950$</p> <p>Exactitud ≤ 1.0 μl</p>
Auto muestreador	<ul style="list-style-type: none"> ● Exactitud de temperatura 	± 3 °C
Horno de la columna	<ul style="list-style-type: none"> ● Exactitud de temperatura ● Estabilización de temperatura 	± 3° C
Detector de múltiples longitudes de onda	<ul style="list-style-type: none"> ● Linealidad ● Exactitud de la longitud de onda ● Deriva 	<p>$r^2 \geq 0.999$</p> <p>± 2 nm</p> <p>De acuerdo con el fabricante</p>

* Desviación estándar relativa (DER)

En las Tablas 2 y 3 se presentan aquellas pruebas que corresponden a la calificación de operación y desempeño para el espectrómetro de masas. Sin embargo para las pruebas de desempeño, no se tiene un estándar definido como en la calificación de operación, ya que, el estándar que se usará para someter al equipo a las pruebas de desempeño varía dependiendo de la necesidad del sector en el que el equipo desempeñe su trabajo, por esto los fragmentos (especies que se ven de acuerdo con su relación masa/carga) que se observan durante las pruebas, dependerán del estándar usado.

Se propone el uso de un material de referencia certificado de cafeína para la calificación de operación dado que posee 3 señales intensas en su espectro de masas y que siempre aparecen durante su análisis por ser fragmentaciones de alta estabilidad, pues son formadas por cationes y no cationes radicales como otras fragmentaciones. En la Figura 2 se pueden ver las fragmentaciones de la molécula de cafeína donde los fragmentos más estables corresponden al ion molecular con un valor de m/z de 195 y los fragmentos de 138 y 110.

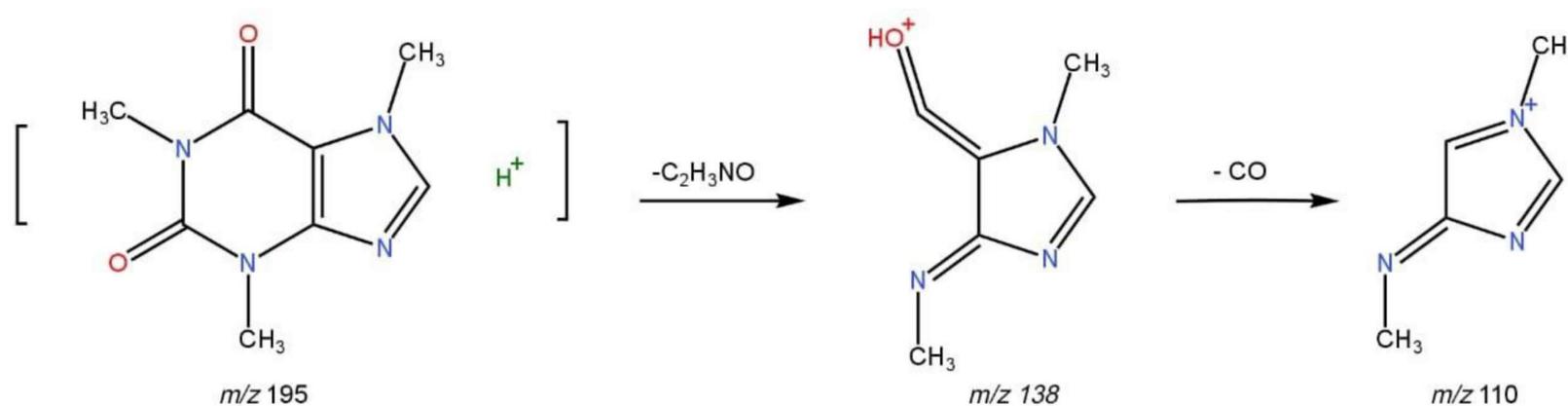


Figura 2. Fragmentaciones más estables de la cafeína. Créditos de la imagen: Kevin Adrián Mora Chávez.

Tabla 2. Criterios de aceptación para un equipo MS-TOF por la red OMCL anexo 7 "calificación de equipos"

Identificación en modo positivo		
Parámetro por revisar	Límite típicamente aceptado (Baja resolución MS)	Límite típicamente aceptado (Alta resolución MS)
Precisión de la masa (Cafeína)	$m/z = 195.2 \pm 0.05$	± 5.0 ppm
Precisión de los fragmentos	$m/z = 138.06 \pm 0.05$	± 5.0 ppm
Identificación en modo negativo		
Parámetro por revisar	Límite típicamente aceptado (Baja resolución MS)	Límite típicamente aceptado (Alta resolución MS)
Precisión de la masa (Cafeína)	$m/z = 195.08 \pm 0.05$	± 5.0 ppm
Precisión de los fragmentos	$m/z = 138.06 \pm 0.05$ $m/z = 110.07 \pm 0.05$	± 5.0 ppm ± 5.0 ppm

Tabla 3. Parámetros por evaluar en modo ESI + y ESI -.

Parámetro por comprobar	Límite de aceptación típico
Linealidad	$r^2 = 0.999$
Precisión del sistema	$DER \leq 5.0\%$

Cabe mencionar que a cada prueba mencionada en el procedimiento de calificación se le estima su respectiva incertidumbre, la cual para el uso del equipo en un análisis no debe aportar más del 5% a la incertidumbre objetivo del propósito de uso. Este valor varía dependiendo del producto que se evalúa, por ejemplo, la Farmacopea de los Estados Unidos (USP) y la Farmacopea Europea (Ph. Eur.), suelen establecer un rango de $\pm 2\%$ a $\pm 5\%$ alrededor del valor nominal de la concentración de principio activo de un medicamento [8]. En México la incertidumbre objetivo para el análisis de plaguicidas establecido en la NMX-AA-071-SCFI-2018 es del 10% al 20% del valor medido [9].

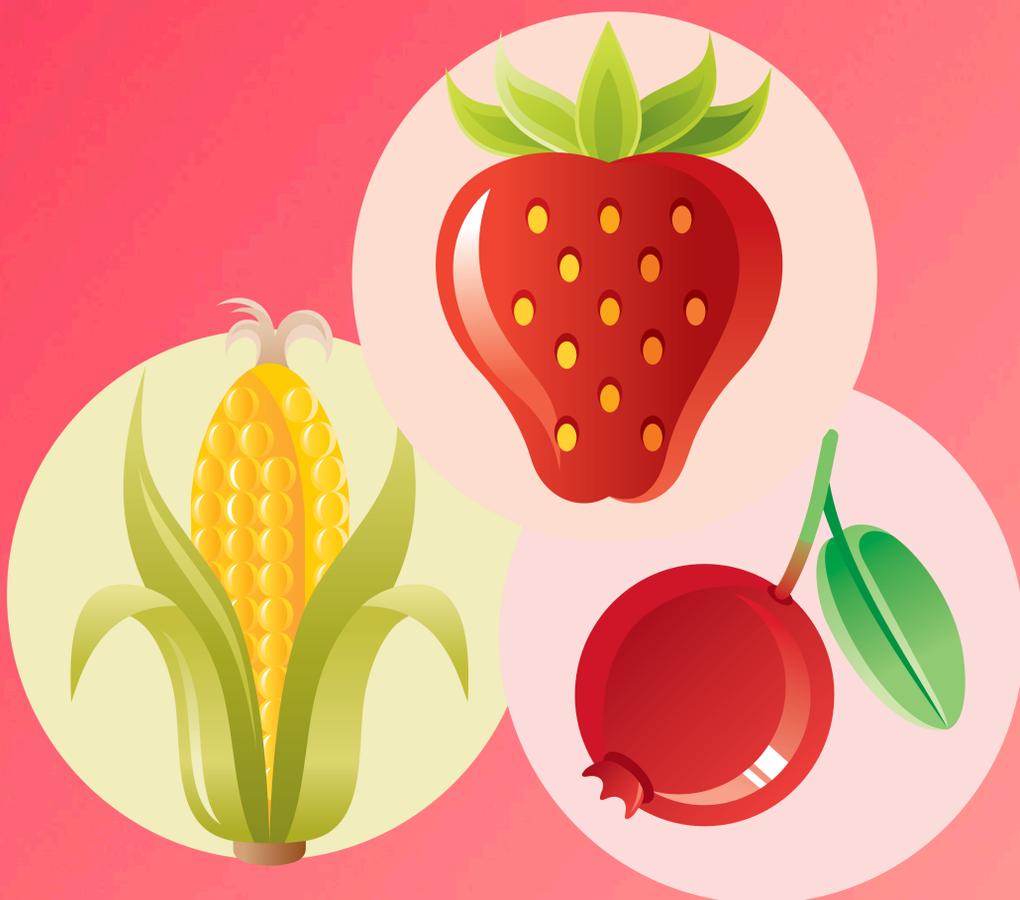
Conclusión

En este trabajo se pretende ilustrar la importancia de la técnica analítica HPLC/MS y que la confiabilidad sobre el resultado que entrega el equipo está fundamentada en su calificación, entendiendo que la implementación de un proceso de calificación asegura la eficacia de los resultados obtenidos y optimiza los procesos productivos protegiendo las inversiones de las empresas, contribuyendo a largo plazo, a construir la confianza del consumidor y a fortalecer la reputación de las industrias mexicanas en un entorno global cada vez más regulado, competitivo y exigente. Por lo que, garantizar que los equipos HPLC/MS o cualquier otro, estén debidamente calificados es una inversión no solo en calidad, sino en seguridad, confianza y prosperidad económica, tanto para las empresas como para los consumidores que dependen de sus productos y servicios.



Referencias:

- [1] Wang, J., & Guo, H. (2019). Challenges and advances in HPLC-MS for food safety analysis. *Food Chemistry*, 276, 392-398.
- [2] Rodríguez-Peña, E., & García-Serrano, L. (2023). Calibración y calificación de equipos en laboratorios de análisis químico: Impacto en la industria. *Revista Iberoamericana de Metrología*, 9(1), 45-52.
- [3] COFEPRIS. (2018). Retiro de medicamentos por impurezas en el principio activo. <https://www.gob.mx/cofepris/articulos/retiro-de-productos-con-materia-prima-valsartan-del-fabricante-zhejiang-huahai-pharmaceutical-co-ltd-por-defecto-de-calidad?idiom=es> Consultado el 10 de septiembre del 2024.
- [4] El Queretano. (2021, 27 de diciembre). Altos niveles de arsénico y flúor en pozos de agua de 5 municipios de Querétaro. *El Queretano*. <https://elqueretano.info/destacadas/altos-niveles-de-arsenico-y-fluor-en-pozos-de-agua-de-5-municipios-de-queretaro-data-critica/> Consultado el 10 de septiembre del 2024.
- [5] Jurgen H (2017) *Mass spectrometry* 3^{ed}, Springer.
- [6] Harris, D. C. (2010). *Quantitative Chemical Analysis* (8th ed.). W. H. Freeman.
- [7] CENAM. Guía sobre la calificación de equipo de instrumentos analíticos. (2004).
- [8] Farmacopea de los Estados Unidos (USP). (2021). USP 44-NF 39: United States Pharmacopeia National Formulary. United States Pharmacopeial Convention.
- [9] Secretaría de Economía. NMX-AA-071-SCFI-2018. (2018). Análisis de agua: Medición de plaguicidas organoclorados por cromatografía de gases, extracción en fase sólida (SPE) o extracción líquido/líquido con detector de captura de electrones (DCE) o espectrómetro de masas (EM).



Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al Programa UNAM-PAPIME PE208024, "Herramientas digitales para la enseñanza de la metrología", al Ing. Juan Carlos Gómez Buendía por su apoyo en la revisión del Procedimiento de Calificación.



Trivia

¿Sabías que el kilogramo ya no se define por un objeto físico?

Desde 2019, se basa en una constante fundamental de la física. ¿Cuál es?

- A) Constante de Avogadro
- B) Constante de Planck
- C) Constante de Boltzmann

B) Constante de Planck

Herramientas digitales para la enseñanza de la Metrología

Por: Tonantzin Ramírez Pérez

Unidad de Metrología, Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma de México
ORCID: 0000-0003-2264-2584

Saúl Uziel Hernández Vázquez

Unidad de Metrología, Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma de México
ORCID: 0000-0002-9842-4228

Adriana Areli Bravo Lozano

Dirección de Innovación en Tecnologías
para la Educación - DGTIC
Universidad Nacional Autónoma de México
ORCID 0000-0003-3489-1537

Resumen: En este trabajo se aborda la relevancia de contar con herramientas digitales de aprendizaje como parte de un complemento de estudio de la metrología. El trabajo toma como base observaciones y cuestionarios en clase realizados durante 16 cursos. Se fortalece con elementos fundamentales de la pedagogía y la experiencia de la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (DGTIC) de la UNAM en la construcción de espacios virtuales de encuentro e interacción para el aprendizaje.



Objetivo

Contar con material digital de apoyo para fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Metrología.

Introducción

La Metrología es un área muy prometedora que tiene un gran campo de acción en todas sus ramas y que proporciona una excelente oportunidad de desarrollo profesional. Existe una demanda creciente de personas formadas en metrología, por lo que las instituciones de educación superior estén poniendo atención en cubrir esta demanda.

En la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), a partir de la modificación del plan de estudios de 2010, se imparte la asignatura Metrología, con clave 1503, en el 5º semestre. De entonces a la fecha se han identificado situaciones motivacionales adversas cuando se cursa la materia. Por ejemplo:

- Es una asignatura que suele vincularse a mediciones ambientales, o bien, solo al abordaje de estimaciones de incertidumbre. Con pocas bases para saber qué esperar, el enfoque de las y los estudiantes está puesto en obtener una buena calificación y, a lo más, mejorar el trabajo en equipo
- Los estudiantes debieron haber pasado por el Laboratorio de Física, asignatura seriada con Metrología, en donde se ven algunos temas como la estimación de la incertidumbre. Sin embargo, al no ser el objetivo del curso, no se profundiza en lo que respecta a la comprensión de la metrología. Entre los estudiantes se genera una sensación de frustración dado que no llegan a comprender el cálculo que se requiere y sólo aplican algoritmos para resolver los ejercicios. En particular, no encuentran la conexión entre estimar la incertidumbre y el contexto químico (o físico) en el cual se ve la necesidad de estimar la incertidumbre de medida.
- Los estudiantes la consideran difícil; esto es, la perciben en un nivel académico más alto porque requieren como base un buen manejo de cálculo, probabilidad y estadística. El escaso análisis sobre la vinculación de la metrología con problemáticas reales acentúa esta percepción.
- La encuentran compleja por el vocabulario y términos desconocidos vinculados con un contenido semántico diferente; por ejemplo, con la palabra ajuste hacen referencia a mantenimiento, calibración, nivel y ajuste en sí mismo; lo cual crea dificultades de comprensión.
- La perciben como una materia tediosa, dado que en la comunicación entre estudiantes mencionan que experimentalmente solo es hacer repeticiones de mediciones.

Respecto a la organización general del plan de estudios, el estudiantado considera que la asignatura de metrología abarca muchos temas para estudiar en poco tiempo, y quienes están aprendiendo requieren incorporar el conocimiento técnico a las actividades experimentales. Por este motivo, hacer un puente entre los nuevos conceptos y su implementación en actividades más complejas se vuelve un reto que muchas veces termina en la frustración del estudiante, llevándolo a una falta de motivación por la materia, así como a altos índices de deserción y/o reprobación.

En este contexto, como especialistas en el área de metrología, proponemos fortalecer el proceso de enseñanza, comprendiendo las complejidades de la docencia y poniendo énfasis en el aprendizaje del estudiantado, con el objetivo de que el conocimiento sea profundo y que las personas que están estudiando metrología tengan herramientas más accesibles.

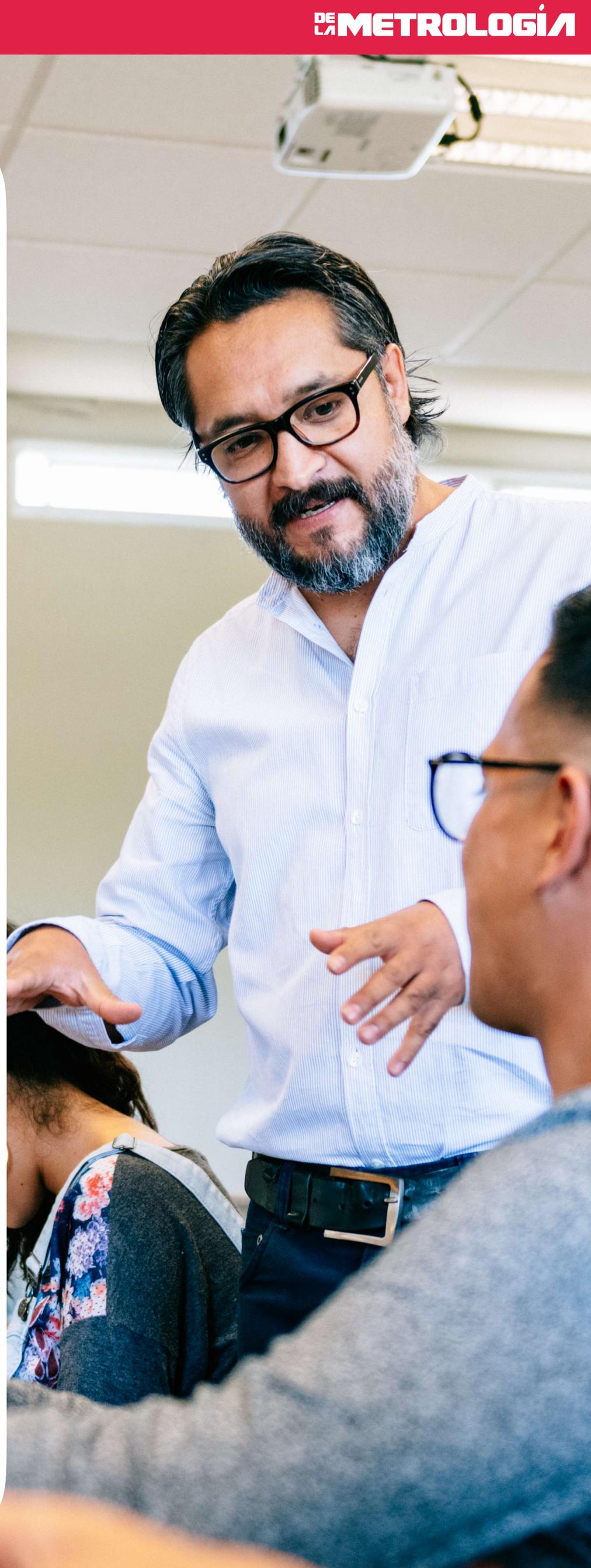
Fundamentos teóricos para pensar la enseñanza y el aprendizaje

Para entender las situaciones motivacionales adversas descritas en el apartado anterior, consideramos necesario plantear una mirada teórica en torno a cómo se enseña y cómo se aprende. Esta mirada teórica la retomamos desde el constructivismo, que tiene sus orígenes en los planteamientos de autores como Dewey, Piaget, Vygotsky, Brunner y Ausubel entre otros. Todos ellos coinciden en reconocer el papel activo del estudiante como constructor de conocimiento y no como un sujeto pasivo que recibe información.

La idea fundamental del constructivismo consiste principalmente en considerar que “el individuo -tanto en los aspectos cognitivos y sociales del comportamiento como en los afectivos- no es un mero reproductor del ambiente ni un simple resultado de sus disposiciones internas, sino una construcción propia que se va produciendo día a día como resultado de la interacción entre esos dos factores”. (Carretero, 2000, p. 22). De este modo, la enseñanza tiene el objetivo de propiciar esas interacciones, no sólo del estudiantado con los contenidos, sino también con los otros y con sus propios conocimientos.

Desde esta perspectiva, para que el estudiantado construya conocimientos hace falta que el docente diseñe situaciones didácticas en las cuales se pongan en práctica los conocimientos con los que se cuenta, se reconozca los conocimientos con los que aún no se cuenta y se resuelvan retos que promuevan la construcción de nuevos conocimientos. En los procesos de enseñanza y aprendizaje tanto el docente como el estudiante desempeñan roles activos; el docente es el responsable de diseñar, mediar y orientar las situaciones, mientras que el estudiante es quien plantea preguntas, actúa, resuelve problemas, hace inferencias, genera hipótesis y las pone en práctica.

Por lo que respecta a los retos, es necesario que éstos sean significativos para los estudiantes; no se trata de que todo se vincule con los intereses de los estudiantes, sino que en el desafío mismo quede de manifiesto que aquello que se está aprendiendo tiene un para qué en la vida cotidiana y que ese conocimiento es resultado de una necesidad de dar sentido a condiciones sociales y naturales que suceden todo el tiempo.



En la Tabla 1 se sintetiza, a partir del análisis de la literatura, una vista general de las concepciones que plantea el constructivismo.

Tabla 1. Vista general de las concepciones que plantea el constructivismo. Elaboración propia a partir de (Castorina, 2004; Carretero, 2000).

Concepción sobre el aprendizaje	Concepción sobre la enseñanza	Rol del docente	Rol del estudiante
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se construye a partir de la interacción con el entorno, con las personas y con el conocimiento propio. ✓ Involucra una reestructuración interna a través de la asimilación de información nueva y la reorganización en esquemas mentales. ✓ Proceso activo y no lineal de construcción de sentido. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se basa en el diseño de situaciones que promueven conflictos cognitivos. ✓ El 'error' no es un fracaso sino una oportunidad para contraponer los conocimientos previos con la información nueva. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Define los propósitos didácticos (lo que se espera que aprendan los estudiantes). ✓ Genera situaciones desafiantes para la interacción y el surgimiento de conflictos cognitivos. ✓ Selecciona y organiza recursos y materiales para que los estudiantes puedan enfrentar el desafío. ✓ Promueve la investigación, el análisis, el trabajo colaborativo y el descubrimiento. ✓ Problematiza evitando dar las respuestas antes de tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El estudiante es el protagonista de su propio proceso de aprendizaje. ✓ Interpreta y da sentido a la información nueva para integrarla en sus esquemas mentales.

Tomando como base el enfoque constructivista, se diseñó una secuencia didáctica para la asignatura de Metrología, misma que se describe en los siguientes apartados.

Ambientes Digitales de Aprendizaje (ADA)

Actualmente la tecnología está presente en todas las actividades que realizamos. Durante la pandemia fue innegable la utilidad de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en todos los ámbitos. Por ejemplo, fue gracias a su uso que se pudo continuar con la educación en todos los niveles educativos a través de los distintos servicios de videoconferencia y plataformas educativas, donde se publicaron las actividades que debían realizarse y se hizo seguimiento de ello.

Desde hace varios años, la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (DGTIC) a través de la Dirección de Innovación en Tecnologías para la Educación (DITE) trabajan para que las TIC sean integradas como herramientas potencializadoras de los procesos de enseñanza y de aprendizaje. Desde antes de la pandemia ha colaborado con la planta docente de la UNAM en el diseño y gestión de aulas virtuales a través de la plataforma educativa Moodle. Derivado de estas colaboraciones surgió el proyecto denominado Ambientes Digitales de Aprendizaje (ADA), que son espacios que buscan fomentar el aprovechamiento de las TIC para contribuir a la transformación de los procesos de enseñanza y aprendizaje, objetivo incluido en el eje 2, Cobertura y calidad educativa del Programa 2.5 Tecnologías para el aprendizaje y el conocimiento, del Programa de Desarrollo Institucional de la UNAM.

Los ADA son espacios virtuales de encuentro e interacción para el aprendizaje, pueden ser consultados por docentes y estudiantes, están disponibles todo el tiempo y pueden consultarse desde cualquier dispositivo conectado a internet. Estas características fomentan que se amplíen las posibilidades de interacción porque pueden ser consultados en cualquier día y horario.

El desarrollo de un ADA inicia a partir de una planeación didáctica diseñada por uno o varios docentes de una asignatura. En esa planeación se plasman los propósitos de aprendizaje y lo que se espera que aprendan los estudiantes. En un ADA se pueden encontrar actividades de aprendizaje que fomentan en los estudiantes acciones cognitivas para transformar la información en conocimiento; materiales y recursos de apoyo; y sugerencias para la evaluación del aprendizaje, como rúbricas.



Desarrollo del ADA en Metrología

En colaboración con la DITE se enfrentó el reto de elaborar una propuesta para transformar los procesos de enseñanza que inciden en el aprendizaje de la Metrología de los estudiantes; teniendo, por un lado, el reto de mejorar los procesos de enseñanza y, por otro, el hecho de que las generaciones nuevas están más familiarizadas con la tecnología, videos y actividades interactivas. Para ello, se diseñó un ADA que pudiera servir de complemento a las actividades presenciales que se desarrollan como parte de la asignatura de Metrología en el plan de estudios clave 2192 de la licenciatura en Química en la Facultad de Química. El objetivo fue generar un espacio para colocar una planeación que integra actividades y recursos basados en el uso didáctico de las tecnologías digitales, lo cual permitiría que el espacio pudiera ser retomado por otros docentes para impartir los contenidos en línea, con énfasis en ejercicios de estimación de incertidumbre y trazabilidad, que son dos de los temas que requieren más tiempo de estudio. De esta forma, las personas que cursan la materia tendrían la posibilidad de repasar temas y hacer ejercicios tantas veces como fuera necesario, para tener el andamiaje que les permita cambiar el paradigma sobre la conceptualización de la metrología.

Este avance se presentó al personal de DGTIC con quienes desarrollamos las Actividades, que es la parte medular de un ADA, porque son las instrucciones que de forma clara, ordenada y concreta guían a que el estudiante realice acciones y resuelva cuestionamientos para que exista un aprendizaje. Para este punto fue relevante tener en mente que la herramienta se utilizaría de forma asíncrona, y que la calidad de las indicaciones, así como la selección de buenos recursos, repercuten en el cumplimiento de los objetivos de aprendizaje planteados.

Para el ADA-Metrología (<https://ada.educatic.unam.mx/course/view.php?id=178>) se crearon cuatro módulos con diez *Actividades*, que invitan a pensar sobre la Metrología y a identificar sus contextos de uso. Los módulos 1 y 2 se enfocan en la comprensión del vocabulario básico de la metrología, así como de los elementos estadísticos y probabilísticos que son necesarios en la estimación de incertidumbre.

En el módulo 3 se dejaron actividades que contribuyen a identificar fuentes de influencia de un proceso de medición y a hacer cálculos de estimación de incertidumbre. El módulo 4 contiene ejemplos aplicados a mediciones químicas y físicas, y engrana los conceptos aprendidos a una aplicación específica: un laboratorio que se dedica a la producción de materiales de referencia (MR) candidatos a ser certificados.

En este ejemplo se ven involucradas magnitudes como la masa, la temperatura y el volumen, las cuales se integran para la entrega del resultado del MR, incluyendo su carta de trazabilidad y una de las formas en las que se evalúan. En un apartado independiente, que se titula Storyline Vasco y Candela, se recopila una serie que se

compone de diez capítulos de la historia de Vasco, un explorador que se pierde en la Ciudad de Cuantía y que con la ayuda de la guía Candela se adentra en el maravilloso mundo de la Metrología.

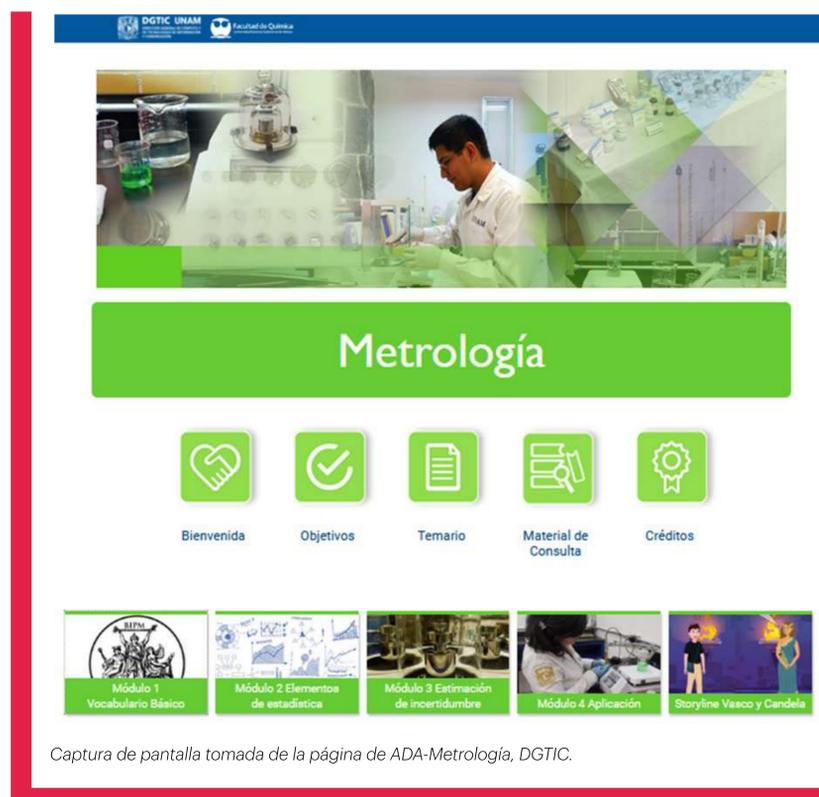


Tabla 2. Pasos para el diseño y creación de las Actividades del ADA. Elaboración propia.

<p>Antecedentes</p>	<p>Se trabajó con una visión del aprendizaje desde el constructivismo: El estudiantado como constructor de conocimientos, a partir de situaciones retadoras donde debe poner en práctica sus conocimientos y construir nuevos a través de la interacción con los contenidos, con otras personas y con sus propios conocimientos. En este sentido, se usó la metodología de diseño instruccional de Gagné: aprendizaje en niveles¹.</p>
<p>Identificación de objetivos</p>	<p>Considerando lo anterior, cada una de las Actividades diseñadas, tiene redactado un objetivo de aprendizaje, productos esperados, forma de trabajo, recursos con los que se llevará a cabo la actividad, así como las indicaciones necesarias para llegar al producto esperado; finalmente se incluye una la conclusión de la actividad para reflexionar sobre lo aprendido y las referencias de consulta correspondientes.</p>
<p>Selección de material</p>	<p>Material basado en casos reales o de actividades cotidianas. Se integraron notas periodísticas y ejemplos rutinarios o de diversión para captar la atención.</p>
<p>Estrategias de presentación</p>	<p>Actividades polifacéticas. Se incluyeron estrategias distintas para la presentación de contenido: Organizador visual, estudios de caso, juegos, ejercicios de estimación de incertidumbre y autoevaluaciones, entre otras.</p>

¹ La Teoría del Aprendizaje de Gagné proporciona los pasos y técnicas a seguir para lograr, primero, que el estudiante se motive a aprender, y luego, que adquiera un aprendizaje significativo; algunos de estos niveles son la estimulación del conocimiento previo, propiciar el desarrollo de habilidades, incrementar la retención del conocimiento y proveer retroalimentación (McNeill & Fitch, 2023).

Tabla 2. Pasos para el diseño y creación de las Actividades del ADA. Elaboración propia.

<p>Material interactivo (Story line)</p>	<p>Creación de una serie de diez capítulos con dos personajes: Vasco y Candela.</p>  <p>Con la intención de generar empatía y que quien está estudiando los temas sintiera acompañamiento, se creó un personaje, Vasco, que también está en proceso de aprendizaje, y que inicia desde el desconocimiento de la Metrología, pero a través de las explicaciones amables y pacientes de su guía, Candela, va mejorando la comprensión que tiene de los temas, hace engranaje con las ideas principales, y de pronto se reconoce a sí mismo como alguien que ha progresado significativamente.</p>  <p>Otro ejemplo, en la botella morada tenemos una disolución de $KMnO_4$, ayúdame a identificar el mensurando.</p>
<p>Material audiovisual (Videos)</p>	<p>Realización de 18 videos (DITE-DGTIC-UNAM). Algunas Actividades están complementadas con información en video, los cuales quedaron disponibles en el canal de YouTube de DITE-UNAM. https://youtube.com/playlist?list=PLwuldxWRwQRT48IMoXIHntBSNOWAg8XM&si=bg_rrOi_slG05R5f.</p> 

Conclusiones

El diseño de actividades a partir de las cuales el estudiantado pueda construir conocimientos es un proceso que requiere pensar, en primera instancia, en qué queremos que aprendan, así como pensar en cuáles son las situaciones y los recursos más apropiados para que el aprendizaje suceda. También requiere analizar cuál es nuestro posicionamiento sobre la enseñanza y el aprendizaje. Este posicionamiento puede explicar por qué los estudiantes se sienten desmotivados, por qué no identifican a la Metrología como una asignatura importante en su formación y, en general, porque sienten que hay una división entre lo que aprenden y lo que viven cotidianamente.

Benjamín Bloom, psicólogo y pedagogo, planteó que el dominio del aprendizaje se da en tres aspectos: cognitivo, afectivo y psicomotor. Con el desarrollo y aplicación de este ADA, como parte de las herramientas de aprendizaje de la Metrología, se puede constatar que se cubren estos tres dominios, a través de, por ejemplo:

- ✓ Se despierta el interés en una materia nueva.
- ✓ Inicia un cuestionamiento sobre la confiabilidad de un resultado de medida.
- ✓ Aplican Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL) en otros laboratorios.
- ✓ Mejoran su manejo de equipo/instrumentos de laboratorio.
- ✓ Hacen uso adecuado del vocabulario.

Integrar herramientas digitales a un curso presencial coadyuva en el proceso de enseñanza-aprendizaje porque funge como elemento de refuerzo del aprendizaje y, dentro de las sesiones presenciales, se puede retroalimentar y tener foros de discusión que permitan enriquecer el conocimiento.

La industria requiere de metrólogos cada vez mejor preparados. Herramientas como las presentadas en este trabajo pueden contribuir de manera significativa a esta preparación. Invitamos a quienes nos están leyendo a visitar, explorar y, en su caso, difundir el ADA-Metrología (<https://ada.educatic.unam.mx/course/view.php?id=178>) entre sus colaboradores.



Referencias:

- Carretero, M. (2000). Constructivismo y educación (Reimp). Progreso: Edit. Luis Vives.
- Castorina, J. A. (2004). Piaget-Vigotsky: Contribuciones para replantear el debate (1a ed., 3a reimpr). Paidós.
- Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación. (2022). Ambientes Digitales de Aprendizaje. ADA. <https://ada.educatic.unam.mx/>
- Facultad de Química. (2022). Programa de Estudio Metrología 1503. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2022/02/1503-Metrologia-CCQ.pdf>
- Garritz, A. (2010). La enseñanza de la química para la sociedad del siglo XXI, caracterizada por la incertidumbre *. Educación Química, 21(1), 2–15. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30066-1](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30066-1)
- McNeill, L., & Fitch, D. (2023). Microlearning through the Lens of Gagne's Nine Events of Instruction: A Qualitative Study. TechTrends, 67(3), 521–533. <https://doi.org/10.1007/s11528-022-00805-x>
- National Minority AIDS Council. (2017). Desarrollo de liderazgo. Serie de Efectividad Organizacional. <https://targethiv.org/sites/default/files/file-upload/resources/desarrollo-de-liderazgo.pdf>
- Ramos Mejía, A. (2018). ¿Cómo producir una experiencia profunda y transformadora en un curso experimental de fisicoquímica? Educación Química, 29(2), 62. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.2.63708>
- Schunk, D. H. (2012). Teorías del aprendizaje: Una perspectiva educativa (6a ed). Pearson Educación.
- Tonantzin Ramírez Pérez, Adriana Areli Bravo Lozano, Saúl Uziel Hernández Vázquez, Cielo Rubí Avilés Matías, Kevin Adrián Mora Chávez, Gerardo Fabián Dávila Rocha, & Laura Azucena Lira Jiménez. (2023). Metrología—Ramírez Pérez. Ambientes Digitales de Aprendizaje. <https://ada.educatic.unam.mx/course/view.php?id=178>.

La calificación como eje del aseguramiento de la calidad de los equipos medidores de pH

Por: Saúl Uziel Hernández Vázquez

Unidad de Metrología, Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma de México
ORCID: 0000-0002-9842-4228

Tonantzin Ramírez Pérez

Unidad de Metrología, Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma de México
ORCID: 0000-0003-2264-2584



Resumen: En este artículo, se presenta la diferencia de la calibración con la calificación. La primera se centra en conocer el estado metrológico de los instrumentos, mientras que la calificación evalúa que el equipo opere y funcione adecuadamente para el propósito de uso establecido, asegurando mediciones confiables y trazables. En específico, se aborda la importancia de calificar equipos medidores de pH comerciales basados en electrodos de vidrio. Se presenta el principio de medida, el modelo matemático y, cuáles son las fuentes de error más comunes en estos equipos. Esto permite identificar tres parámetros críticos, así como sus criterios de aceptación para evaluar en estos equipos: la sensibilidad de la pendiente nernstiana, el isopotencial y el error de la sonda de temperatura.

Introducción

El pH es una magnitud química que mide la acidez de las sustancias y es de gran interés para la toma de decisiones dentro de las actividades humanas.

Por ejemplo, en la comunidad mazahua de Santa Rosa de Lima, Estado de México, es común realizar teñidos de lana utilizando extractos de la grana cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa) con un pH controlado de 2.0 para lograr tonalidades rojas, como se observa en la Figura 1 (Franco Maass & Cruz Balderas, 2020). Otro ejemplo, dentro de la industria de los productos cárnicos uno de los factores que determina la calidad de la carne es el pH, si este tiene un valor por arriba de 5.8, la carne tiende a cambiar sus propiedades sensoriales como el color, sabor y consistencia (Węglarz, 2010).



Imagen tomada del artículo de Franco Maass, S. & Cruz Balderas Y. (2020).

Estos ejemplos indican que las mediciones de pH son cruciales para el control de procesos, por lo que, es necesario asegurar su confiabilidad mediante una evaluación de los equipos medidores de pH. Este artículo tiene dos objetivos: dar a conocer el propósito de la calificación de equipos haciendo un contraste con la calibración, y, dar una visualización de los parámetros esenciales que se tienen que evaluar dentro de una calificación de operación de los equipos medidores de pH comerciales que se basan en un electrodo indicador de vidrio. Cabe mencionar que este artículo se basa en la presentación realizada por el autor en el "1er Encuentro de Metrología" realizado en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de México como uno de los productos que se desarrollaron dentro del proyecto PAPIME PE208024, Herramientas digitales para la enseñanza de la metrología.

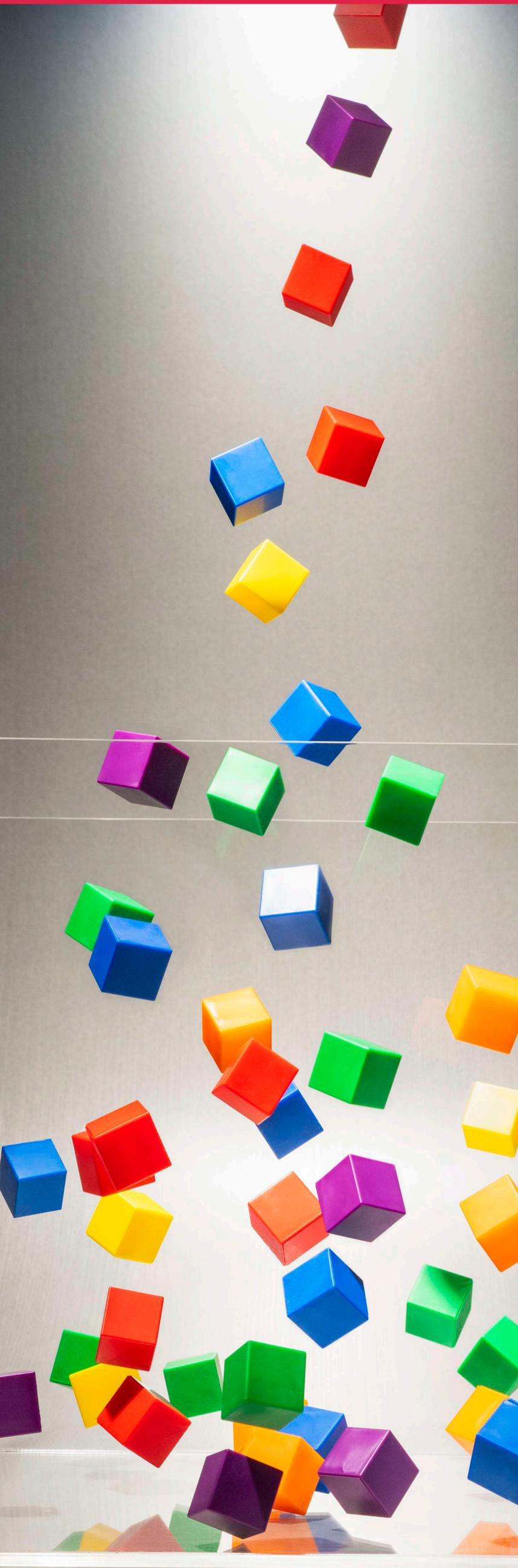


Calibración y Calificación

El propósito de cualquier medición es que esta sea confiable, una parte de la confiabilidad de una medición está dada, por el error y la incertidumbre que nos proporciona un equipo de medición, y que las mediciones sean trazables a patrones nacionales o internacionales.

Con respecto a esto, la norma ISO/IEC 17025:2017 aborda dentro del punto 6.4 los requerimientos que se deben cumplir para el equipamiento; y, en el punto 6.4.4 requisita que: "el laboratorio debe verificar que el equipamiento cumple los requisitos especificados, antes de ser instalado o reinstalado para su servicio" (ISO, 2017). Un enfoque para dar cumplimiento a este punto es el uso de la calificación de equipos, que es un conjunto de acciones para probar y documentar que un equipo ha sido instalado propiamente, además, de que se opera y se desempeña de manera adecuada y consistente para el propósito establecido, es decir, evalúa con respecto a criterios de aceptación si el equipo es confiable para indicar resultados de medición exactos, precisos y trazables dentro de las condiciones y con el procedimiento del laboratorio (Shukla et al., 2023).

Por otra parte, la calibración tiene como objetivo conocer el estado metrológico de los instrumentos de medición a través de una comparación con un patrón de medida para así tener una relación de sus indicaciones, este parámetro, comúnmente es el error y sus incertidumbres asociadas (Lara-Manzano et al., 2004). Es aquí donde se denota la diferencia fundamental entre ambos procesos, la calibración se enfoca en las indicaciones de medida de un instrumento de medición, mientras que, la calificación se enfoca en la operación y el desempeño de los equipos de medición con respecto a criterios de aceptación. Otra diferencia se encuentra en el alcance del proceso de evaluación, la calibración evalúa comúnmente una magnitud a la vez posterior a la instalación del instrumento de medición, por otra parte, la calificación comienza desde antes de la adquisición de un equipo hasta la evaluación de los resultados de medida en un proceso de rutina de un laboratorio. Aun cuando existan diferencias, ambos procesos son fundamentales y no se sustituyen uno de otro, puesto que cada uno cumple un objetivo distinto.



Calificación

Con relación a la calificación de equipos, existen cuatro etapas que se deben llevar a cabo para una calificación completa, en esencia, cada etapa es sucesiva, es decir, se debe cumplir una antes de proseguir con la siguiente. Una etapa previa que debe realizar el usuario del equipo es detallar dentro de un documento de Especificación de Requerimiento de Usuario (ERU o URS por sus siglas en inglés) aquellas especificaciones que son útiles para el diseño de la adquisición del equipo como las especificaciones operacionales, las especificaciones funcionales, las especificaciones de diseño y de suministro eléctrico y las especificaciones de software o hardware e incluso especificaciones económicas. Esto es, un documento guía para la selección del equipo y del proveedor de este. Una vez que se cuenta con este documento, se puede realizar el proceso de calificación, el cual comienza con la Calificación de Diseño (CD).

La CD es una verificación documental para confirmar que tanto el equipo como el proveedor satisfagan las ERU. Posterior a la selección del proveedor y del equipo en la CD, se adquiere el equipo, e inicia la Calificación de Instalación (CI), la cual continua con una revisión formal para confirmar que el equipo, sus módulos y accesorios, se han suministrado de acuerdo con las especificaciones establecidas entre el usuario y el proveedor. Además, verifica que el equipo esté instalado adecuadamente en el ambiente seleccionado. Al estar instalado el equipo de manera adecuada, se procede con la Calificación de Operación (CO) que tiene el objetivo de demostrar y proporcionar evidencia documentada de que el equipo funciona de acuerdo con la especificación operacional en el ambiente en el que se instaló el equipo. Es importante hacer énfasis en que, previo a la CO, es necesario que los instrumentos a los que le apliquen sean calibrados. Finalmente, se realiza la Calificación de Desempeño (C de D), que tiene como objetivo asegurar que el equipo funcione correctamente y que la especificación sea apropiada para su uso de rutina, es decir, proporciona evidencia continua del control y desempeño aceptable del equipo durante su uso rutinario (Lara-Manzano et al., 2004).

En cada una de las etapas de la calificación de equipos es necesario definir los criterios de aceptación para cada una de las pruebas, cada equipo tiene un principio de medición distinto, por lo que, una guía general para definirlos es que deben de indicar un nivel de confianza y exactitud apropiados conforme a estándares, si no existen estándares que apliquen, entonces deben de estar definidos conforme a un convenio entre el usuario y el evaluador tomando en cuenta especificaciones técnicas, científicas o convenidas por las necesidades de la industria. Además, debe ser explícito, claro y medible.

Los equipos medidores de pH son susceptibles a poder ser calificados, por lo que para poder definir qué pruebas hay que realizar en la CO y qué criterios de aceptación hay que tomar en consideración, es pertinente conocer el principio de medición que siguen estos equipos.

Equipos medidores de pH

Esencialmente, los equipos medidores de pH comerciales que se basan en el electrodo indicador de vidrio están fundamentados en la potenciometría y están constituidos por tres partes: 1) la sonda de pH, 2) la sonda de temperatura y, 3) el potenciómetro. En la Figura 2, se muestra un esquema simplificado de un equipo medidor de pH.

Los equipos medidores de pH como su nombre lo indica miden la magnitud química de pH, que se define como: el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrógeno, como se muestra en la Ecuación 1 (Buck, R.P. et al., 2002).

$$pH = -\lg a_H = -\lg \left(\frac{m_H \gamma_H}{m^\circ} \right)$$

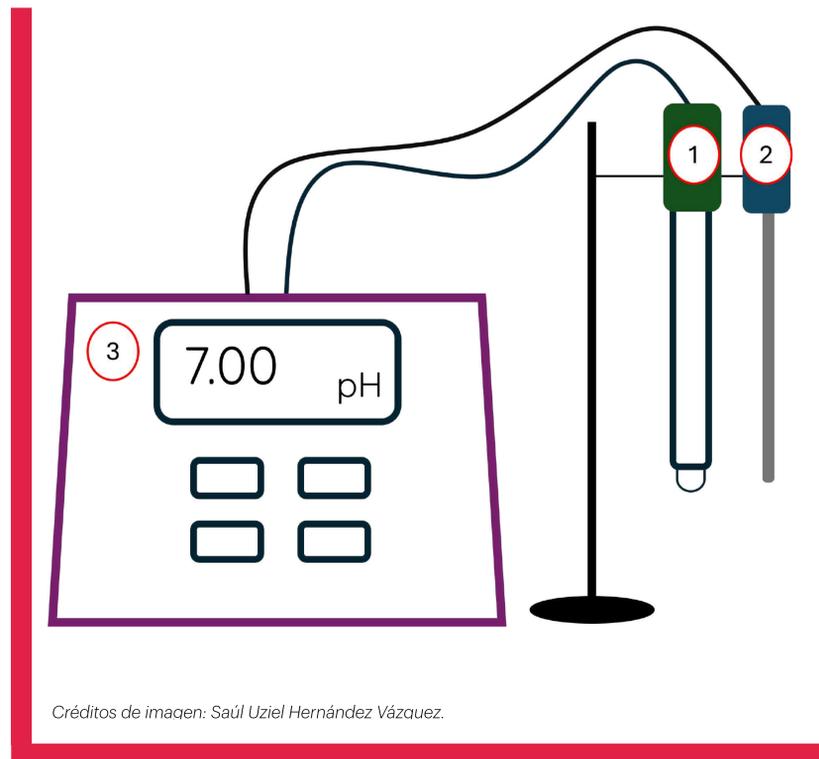
Ecuación 1

Donde:

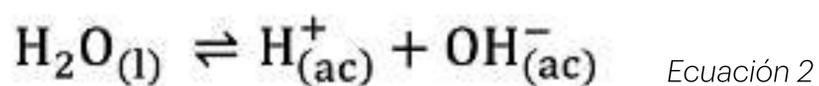
a_H Es la actividad relativa (basada en la molalidad).

γ_H Es el coeficiente de actividad molal del ión hidrógeno H^+ a la

m° Es la molalidad estándar.



Los iones hidrógeno en disolución acuosa son posibles por el fenómeno de la autoionización del agua, como se muestra en la reacción química de la Ecuación 2, y el cambio en la concentración, y en consecuencia la actividad de los iones hidrógeno son producto de sustancias conocidas como ácidos o bases.



Gracias a la sonda de pH los equipos medidores de pH pueden medir la actividad de los iones hidrógeno, y por lo tanto, el pH. En la Figura 2, se esquematiza el electrodo de pH. Esta sonda está constituida por dos electrodos, el electrodo de referencia, que regularmente es un electrodo de Ag/AgCl (Plata-Cloruro de Plata) o de calomel, y el electrodo indicador de vidrio que es sensible a los iones hidrógeno debido a una reacción química de intercambio iónico. En conjunto, tanto el electrodo de pH como el electrodo de vidrio son sensibles a las diferencias de potencial (E) que el potenciómetro puede medir y, posteriormente, traducido a indicaciones de pH. Además, los equipos medidores de pH cuentan con una sonda de temperatura para monitorear la temperatura de la disolución a la cual se le está midiendo el pH (Beard et al., 2023).

El potenciómetro, además de ser el instrumento que mide la diferencia de potencial, permite traducir las indicaciones de potencial en indicaciones de pH mediante la Ecuación 3 que es una ecuación adaptada de la ecuación de Nernst para estos equipos.

$$E = E_{H^+/H_2}^\circ - \frac{2.303RT}{F} (pH_{\text{muestra}} - pH_{\text{referencia}})$$

Ecuación 3

Fuentes de error en la medición de pH

Para considerar lo que se debe evaluar dentro de la CO, hay que conocer las fuentes de error en una medición de pH, para ello se hará uso de una gráfica que se encuentra en la Figura 3 que está basada en la Ecuación 3, la cual muestra el comportamiento ideal del E conforme va cambiando el pH a una temperatura de 25 °C, que es la recta de color azul. Idealmente, el valor de la pendiente nernstiana a 25 °C es de -59.2 mV, con este valor de pendiente el equipo puede realizar una extrapolación de los valores de E a indicaciones de pH, por lo que, si este valor de pendiente se modifica nos puede llevar a tener errores de medición de pH. Existen dos factores que afectan al valor de la pendiente, el primero de ellos es el desgaste físico o contaminaciones que pueda tener el electrodo, esto afecta la capacidad de intercambio iónico del electrodo de vidrio y llevará a determinaciones incorrectas de la actividad de los iones hidrógeno; el segundo aspecto es la temperatura, esta magnitud está involucrada dentro de la pendiente de la ecuación 3, en consecuencia, los cambios de temperatura o una medición con un error significativo afectan directamente al valor de la pendiente. Ambos efectos se pueden observar en la gráfica de la Figura 3, en la recta de color rojo se observa el cambio en la pendiente y además se muestra un ejemplo, en color morado, de cómo cambia el valor de pH al estar midiendo el mismo potencial. El valor de la pendiente experimental regularmente se expresa en términos de sensibilidad porcentual, es decir, obteniendo el porcentaje de dividir la pendiente experimental y el valor ideal de esta pendiente a 25 °C.

Otro parámetro que se obtiene de la gráfica de la Figura 3 es el valor de isopotencial que es el valor del potencial cuando se mide el pH de 7. Idealmente debe tener un valor de 0.0 mV, este isopotencial rara vez tiene ese valor, inclusive cuando el equipo es nuevo, debido a imperfecciones en la fabricación que afectan la simetría de la superficie del electrodo de vidrio, al pasar el tiempo, estas imperfecciones se ven agravadas debido al uso y desgaste de este, por lo que este valor se desvía del ideal.

Con este análisis sobre el principio del método de medición, se puede realizar una aproximación para proponer al menos tres parámetros básicos para evaluar dentro de un equipo medidor de pH: la pendiente nernstiana en términos de sensibilidad, el isopotencial y el error de la medición temperatura. Los primeros dos pueden ser evaluados al comparar las mediciones con Materiales de Referencia Certificados (MRC) de pH y el tercero puede realizarse al realizar una verificación intermedia de la sonda de temperatura.

Los criterios de aceptación para estos parámetros están basados en la Ecuación 3 para no tener un error de medición de pH más grande que ± 0.05 unidades de pH que se recomienda en la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos (FEUM) 13° ed., los cuales se muestran en la Tabla 1. Esta tabla incluye, como ejemplo, los resultados de un ejercicio realizado en la Unidad de Metrología de la Facultad de Química, para un medidor de pH.



Tabla 1. Criterios de aceptación basados en la recomendación por la FEUM 13° ed. para las pruebas que evalúan la pendiente nernstiana, el isopotencial y el error de la temperatura y resultado de un medidor de pH.

Parámetro	Criterio de aceptación	Ejemplo: Resultados
Pendiente nernstiana experimental en términos de sensibilidad	(95 a 105) %	98.8%
Isopotencial	0 ± 30 mV	0.0 mV
Error de la sonda de Temperatura	± 1 °C	0.1 °C

Al evaluar estos tres parámetros se puede conocer el estado metrológico de la sonda de pH y de la sonda de temperatura, lo cual permite realizar una toma de decisión con respecto a la necesidad de un ajuste. Si el equipo está fuera de tolerancia para los primeros dos parámetros de la Tabla 1, el usuario puede realizar un ajuste con los MRC de pH para volver a tener indicaciones dentro de tolerancia, si esto no se consigue a pesar del ajuste, lo recomendable es realizar un mantenimiento correctivo, aunque, el usuario debe evaluar el costo-beneficio de solicitar este servicio o, de manera alterna, adquirir una nueva sonda de pH.

Para el caso de la sonda de temperatura, se debe de seguir un razonamiento similar: 1) realizar una verificación intermedia, 2) evaluar el resultado de la verificación, esto, como parte de la calificación. En caso de tener resultados fuera de tolerancia, 3) realizar un ajuste por el usuario, si es que el manual indique que es posible, o por el proveedor del equipo; 4) realizar una siguiente evaluación metrológica. 5) Evaluar nuevamente los resultados, si estos están fuera de tolerancia, considerar realizar mantenimiento o adquirir una nueva sonda de temperatura.

En el ejemplo que se muestra, los tres parámetros están dentro de los criterios de aceptación. Los resultados corresponden a un medidor de pH digital, con un electrodo combinado con electrolito líquido y sonda de temperatura externa. Es de marca Oakton, modelo pH 700, No. de serie 2301851, inventario 2442951, identificación interna pH-MET-06; resolución pH 0.01, alcance de (-2.00 a 16.00) unidades de pH. La información del patrón e instrumentos auxiliares, así como la de los materiales de referencia, están en las Tablas 2 y 3, respectivamente.

Tabla 2. Información de patrón e instrumentos auxiliares.

Instrumento	Patrones		Auxiliares	
	Simulador pH/mV	Para temperatura	Termohigrómetro	Barómetro
Identificación interna	ELE-001	TEM-026	AMB-001	AMB-002
División mínima	0.01 mV; 1 mV	0.1 °C	0.1	0.1 hPa
Trazabilidad	CENAM	CENAM	CENAM	CENAM

Tabla 3. Información de los materiales de referencia.

	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Identificación interna	MRC-Q-PH-01	MRC-Q-PH-02	MRC-Q-PH-03
No. de referencia	30C32	28C32	09F32
Valor medido	4.01	7.01	10.01
Incertidumbre expandida	0.01	0.01	0.01
Caducidad cerrado	2028-03	2028-03	2025-06
Fecha de apertura	2023-09	2023-09	2024-01
Caducidad abierto	2024-03	2024-03	2024-06
Trazabilidad	Celda de Harned, NIST	Celda de Harned, NIST	Celda de Harned, NIST

Conclusiones

La calificación de operación de los equipos medidores de pH permite asegurar la confiabilidad de las mediciones de pH al evaluar la especificación operacional. Es por esto que, para proponer los parámetros a evaluar en estos equipos, es necesario conocer el fundamento de su funcionamiento, el principio de medida y el modelo matemático asociado. Tener equipos de medición calificados asegura que estos sean adecuados para su propósito de uso, además, coadyuvan a cumplir con la normatividad nacional e internacional aplicable.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al Programa UNAM-PAPIME PE208024, "Herramientas digitales para la enseñanza de la metrología".



Referencias:

- Beard, A., Joseph, D., Schmidt, S., & Galster, H. (2023). pH Measurement and Control. En Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry (1a ed., pp. 1-39). Wiley. https://doi.org/10.1002/14356007.e19_e01.pub2
- BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, & OIML. (s/f). JCGM 200:2012 International vocabulary of metrology—Basic and general concepts and associated terms (VIM). https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_200_2012.pdf/f0e1ad45-d337-bbeb-53a6-15fe649d0ff1
- Comisión Permanente de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos. (2021). Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos (13a ed., Vol. 1). Secretaría de Salud.
- Franco Maass, S., & Cruz Balderas, Y. (2020). El conocimiento local sobre el teñido de la lana en una comunidad mazahua del Estado de México. *Intervención*, 2(22), 245-295. <https://doi.org/10.30763/Intervencion.238.v2n22.17.2020>
- Lara-Manzano, V., Pérez Castorena, A., & Rey del Valle, A. (2004, abril). Guía sobre la Calificación de Equipo de Instrumentos Analíticos. CENAM.
- Buck, R. P., Rondinini, S., Covington, A. K., Baucke, F. G. K., Brett, C. M., Camoes, M. F., Milton, M. J. T., Mussini, T., Naumann, R., Pratt, K. W., Spitzer, P. & Wilson, G. S. (2002). Measurement of pH. Definition, standards, and procedures (IUPAC Recommendations 2002). *Pure and applied chemistry*, 74(11), 2169-2200.
- Shukla, S. S., Pandey, R. K., Gidwani, B., & Kalyani, G. (2023). Objectives of Qualification. En S. S. Shukla, R. K. Pandey, B. Gidwani, & G. Kalyani, *Pharmaceutical Calibration, Validation and Qualification: A Comprehensive Approach* (pp. 49-61). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9002-1_5
- International Organization for Standardization. (2017). Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración (ISO/IEC 17025:2017(es)). <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/06/69/66912.html>
- Węglarz, A. (2010). Meat quality defined based on pH and colour depending on cattle category and slaughter season. *Czech Journal of Animal Science*, 55(12), 548-556. <https://doi.org/10.17221/2520-CJAS>

Un enfoque sobre los aspectos esenciales para la elaboración e implementación de un procedimiento de calibración de manómetros de tubo Bourdon por comparación directa

Por: Ayari Valeria Dávila Cruz
Unidad de Metrología, Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma de México
ORCID: 0009-0005-1400-4170

Tonantzin Ramírez Pérez
Unidad de Metrología, Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma de México
ORCID: 0000-0003-2264-2584

Objetivo: Exponer los elementos clave para la elaboración e implementación de un procedimiento de calibración de manómetros de tubo Bourdon que garantice la confiabilidad de sus resultados de medida y la seguridad de los procesos en los que se utilice.



Introducción

A través de la medición y el control de la presión es posible inferir variaciones en otras magnitudes como el nivel, el volumen, el flujo y la densidad; además, tiene aplicaciones en un gran número de sectores altamente diferenciados entre sí, por lo cual, es una de las magnitudes más medidas en la industria. Por ejemplo, se puede emplear para establecer condiciones de trabajo para depósitos, gasoductos, oleoductos; y, también es esencial para el sector salud, para medir presión arterial. (Gutiérrez, N., 2002) Existen diversos instrumentos para medir la presión, entre ellos el manómetro de tubo Bourdon. Inventado por Eugène Bourdon en 1849, este dispositivo revolucionó la medición de presión, reemplazando al manómetro de mercurio. (Reif S., & Machuca F., 2010). Su introducción al mercado europeo y posteriormente al americano fue fundamental para mejorar la precisión y seguridad en la medición, además de impulsar desarrollos importantes en los campos de la instrumentación y el control de procesos. El principio fundamental de este manómetro metálico se basa en un tubo el cual forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. La presión al interior del tubo produce que este se enderece y dicho movimiento sea transmitido a la aguja indicadora, para amplificar este desplazamiento, el curvado del tubo puede dar varias vueltas formando elementos en "C", torcido, espiral o helicoidal. La Figura 1. ilustra los distintos tubos Bourdon que existen. (La Guía MetAs, 2007)

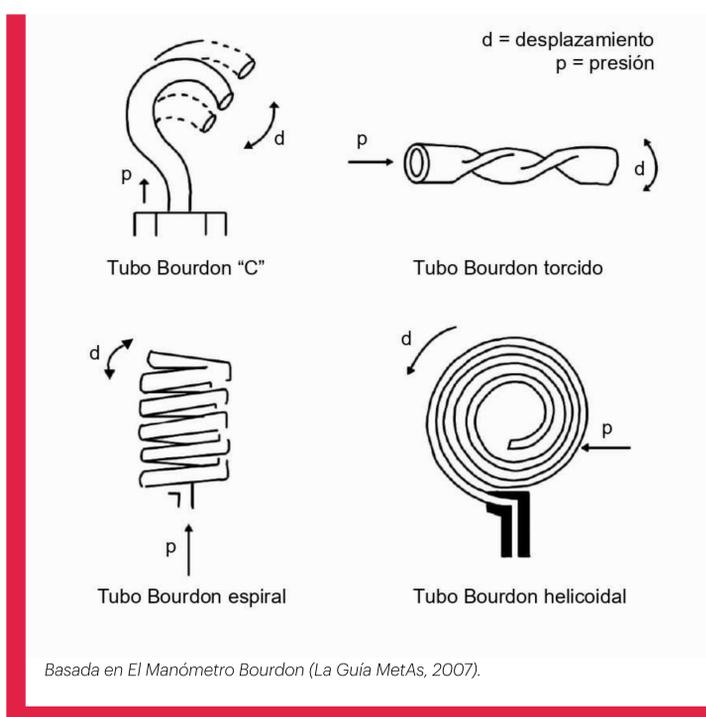


IMAGEN 1. Tipos de tubo Bourdon que podemos encontrar.

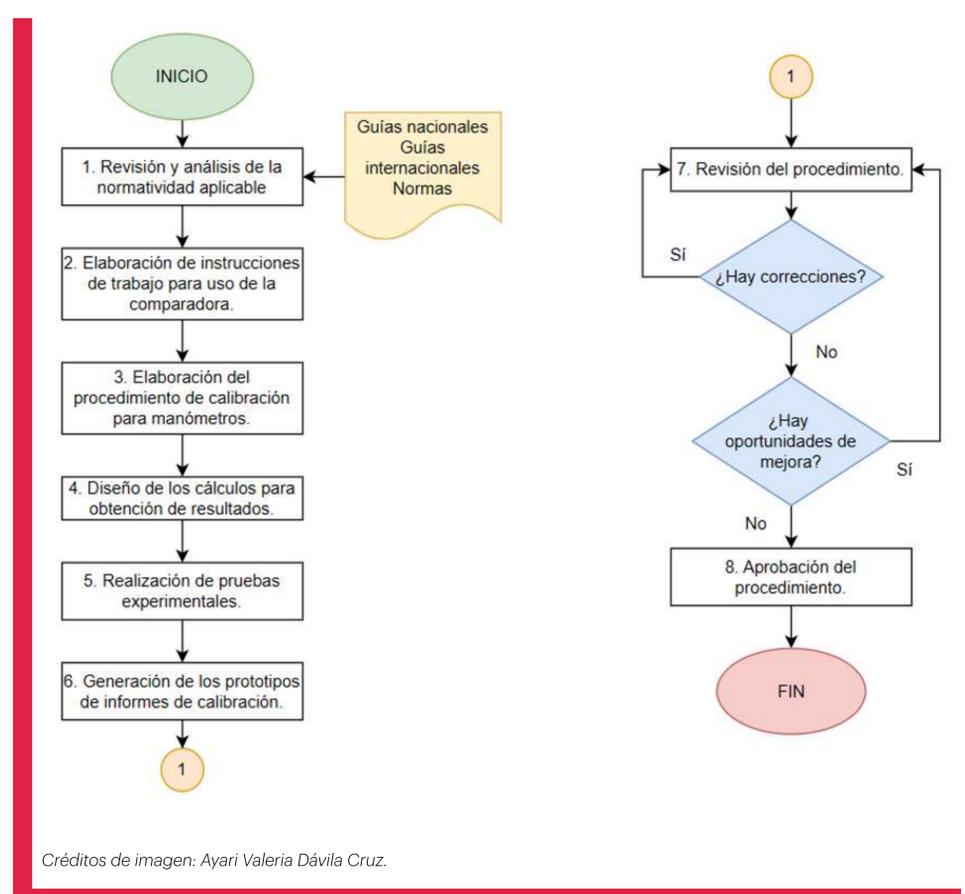
Tanto en la industria como en los laboratorios de investigación, el papel de la metrología va más allá de medir, también se asegura que cada medición contribuya a la seguridad y calidad del producto final en todo proceso.

La calibración de los instrumentos de medición de presión es fundamental para conocer los errores de medición del

instrumento, lo que permite corregir los resultados y asegurar su confiabilidad. Esta confiabilidad es esencial para verificar procesos, tomar decisiones informadas y garantizar que se cumplan las condiciones de operabilidad establecidas. Dependiendo de los patrones con los que se cuenta, el procedimiento de calibración de manómetros puede realizarse por dos métodos:

- Método de comparación directa. Consiste en llevar a cabo la comparación entre el valor del patrón y el instrumento bajo calibración. En este caso, ambos son manómetros, con diferencia de clase y exactitud.
- Método de flotación cruzada. Este método se aplica en la calibración de balanzas de presión y consiste en equilibrar dos balanzas de presión conectadas entre sí por medio de masas. (Aranzolo J. & Navarro, A., 2012)

Para dar validez y confiabilidad a los resultados emitidos por un laboratorio de calibración, es necesario considerar cuidadosamente aspectos relacionados con la investigación documental, el establecimiento de criterios para la calibración, el entendimiento del fundamento del proceso de medición, la experiencia personal y el planteamiento de un modelo matemático adecuado en la generación de un procedimiento de calibración de manómetros. Para describir cómo se abordaron estos aspectos en la presente propuesta, se presenta la Figura 2, que muestra la metodología aplicada para la elaboración de un procedimiento de calibración de manómetros de tubo Bourdon.



Créditos de imagen: Ayari Valeria Dávila Cruz.

IMAGEN 2. Metodología aplicada para elaborar un procedimiento de calibración de manómetros de tubo Bourdon.



Metodología

Investigación documental

El uso de documentos nacionales asociados con la calibración de manómetros como la NOM-013-SCFI-2004 o la “Guía técnica sobre la trazabilidad e incertidumbre en los servicios de calibración de manómetros, transductores y transmisores de presión de elemento elástico”, emitida bajo la colaboración entre la entidad mexicana de acreditación (ema) y el Centro Nacional de Metrología (CENAM) es un soporte esencial para la construcción de un procedimiento. Sin embargo, considerar también documentos internacionales que proporcionan directrices sobre la calibración de medidores de presión genera un panorama más amplio de la investigación documental, y, por lo tanto, complementa el conocimiento sobre el procedimiento para la calibración. Este ejercicio nos permite comprender y comparar cómo se abordan las problemáticas relacionadas con la calibración de presión desde otros puntos de vista, lo que mejora el análisis e implementación de pruebas experimentales que ayuden a proporcionar resultados que reflejen el estado del instrumento. Algunos ejemplos de documentos internacionales son: la R 101 de la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), la DKD-R 6-1 del Instituto Nacional de Metrología de Alemania, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), la cg-17 de la European Association of National Metrology Institutes (EURAMET), entre otros.

Fundamento del proceso de medición

Como usuarios y metrólogos, entender cómo funciona un instrumento de medición nos brinda la capacidad para determinar correctamente los puntos de calibración, interpretar adecuadamente los resultados, determinar si el instrumento opera dentro de las especificaciones requeridas, optimizar su uso, entre otras ventajas. Para el caso del manómetro de tubo Bourdon, se mide la presión de un fluido dentro de un sistema. El fluido puede ser gas, líquido o vapor. Cuando la presión aumenta, el fluido se desplaza hacia arriba en el tubo del manómetro, lo que indica una lectura en la escala graduada. La escala graduada se calibra en unidades de medida de presión, como psi, bar o pascal. Cuando el manómetro se utiliza en un sistema, se conecta a un puerto de presión en el sistema y se lee la presión en la escala graduada del manómetro. (Buitrago, S., Orlando H., & et. al., 2017)

Con base en lo expuesto anteriormente y entendiendo que la base del principio de funcionamiento depende del mecanismo del manómetro, podemos identificar tres puntos claves las actividades del proceso de calibración para este tipo de instrumentos medidores de presión:

- Tiempo de precarga. Las precargas son actividades que se llevan a cabo durante el proceso de calibración y consisten en llevar el instrumento bajo calibración (IBC) hasta su alcance máximo, es decir, hasta el límite de medición que el instrumento permite. Éstas se realizan para propiciar el calentamiento del sistema y así evitar efectos de tensión en el mecanismo de los manómetros tipo Bourdon.
- Preparación y medición del cero en el manómetro. Para observar el comportamiento del IBC y detectar desde el comienzo alguna falla que no haya sido notado en la inspección y la prueba de funcionamiento.

Calibración del IBC en puntos diferentes a cero. La calibración se compone de dos ciclos, como se ilustra en la Figura 3. Cada ciclo se compone de dos fases, una ascendente y otra descendente. Se realiza de esta forma para obtener resultados de mediciones en cualquier sentido del intervalo de medición para el que sea empleado el manómetro, dado que la indicación de este instrumento está relacionada con el movimiento del mecanismo y se debería replicar su comportamiento.

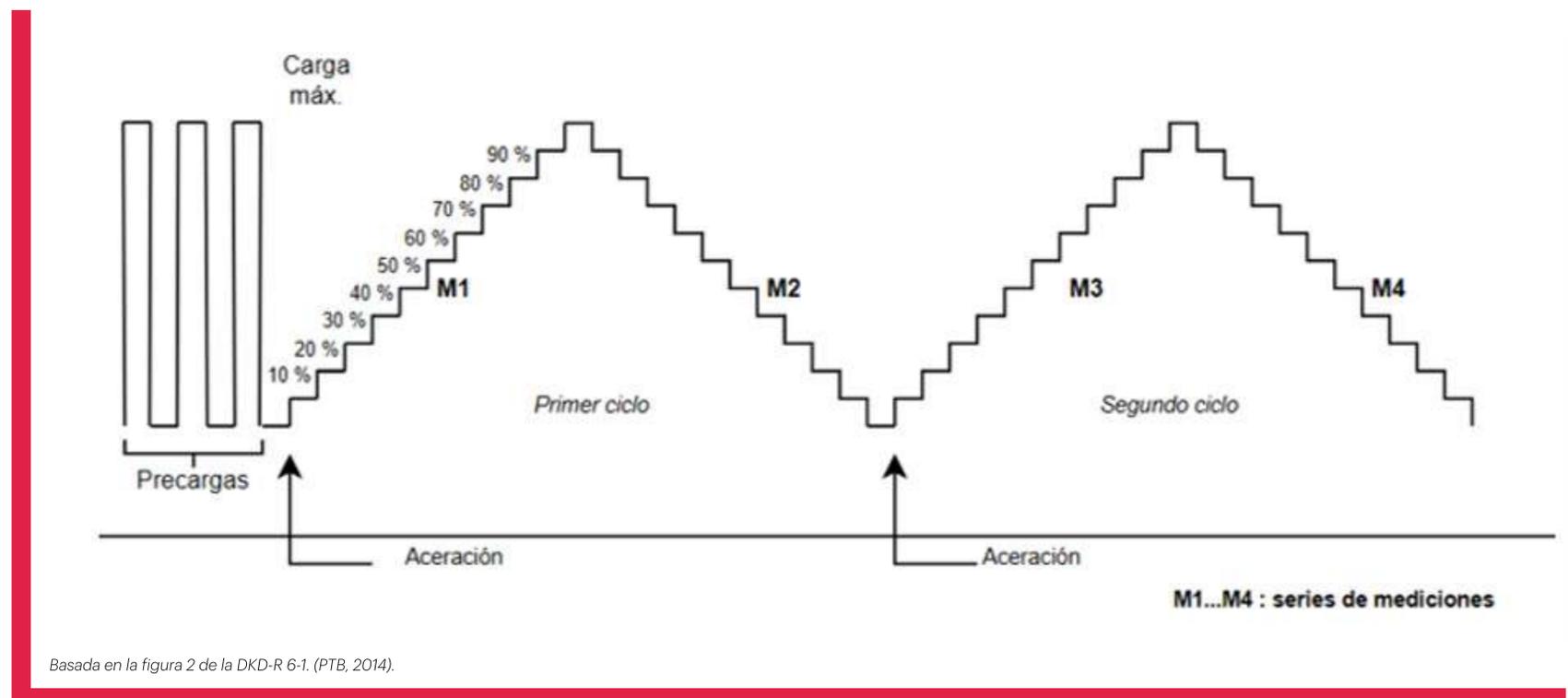
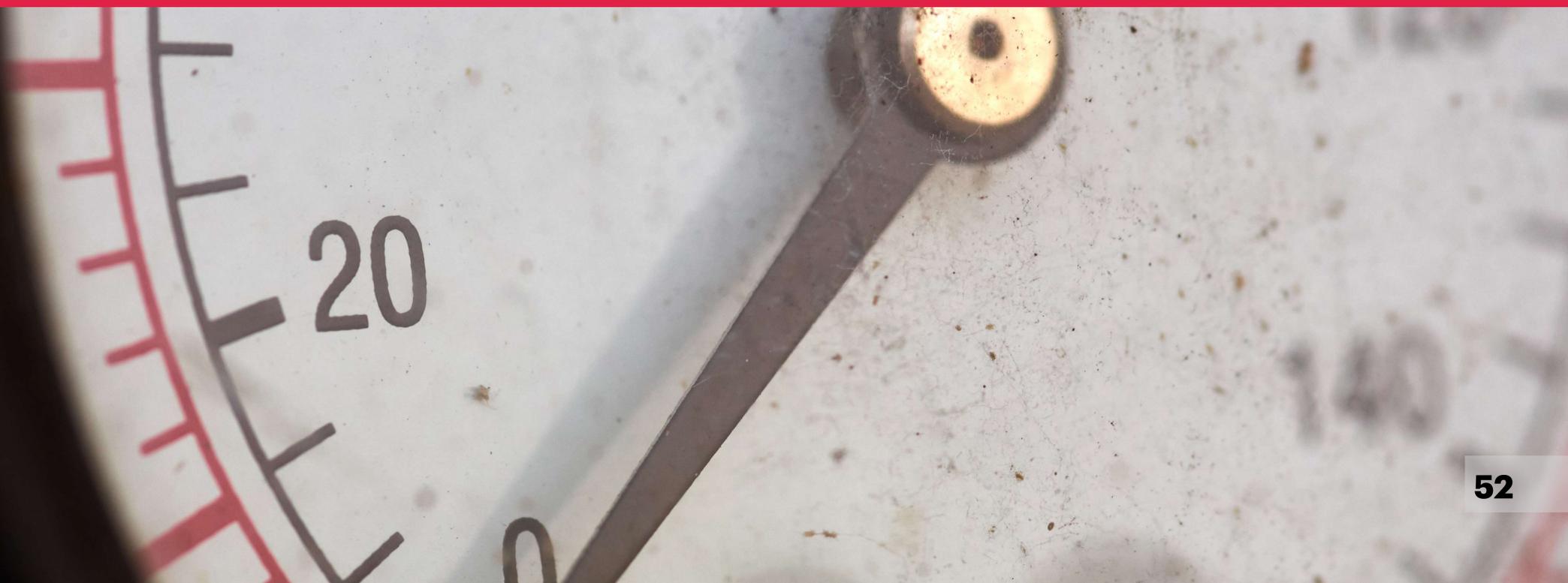


IMAGEN 3. Visualización de las secuencias de calibración para manómetros, imagen basada en la Figura 2 de la DKD-R 6-1. (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 2014)



Planteamiento del modelo matemático

Los modelos matemáticos constituyen una base esencial para la toma de decisiones en metrología ya que permiten definir las relaciones entre las variables y los parámetros que influyen en los resultados. Estos modelos facilitan la representación del comportamiento de los sistemas, el tipo de datos disponibles, el contexto de aplicación, su complejidad y los objetivos de estudio. En consecuencia, las limitaciones de cada modelo varían en función de dichos factores, lo que determina su precisión y aplicabilidad en situaciones específicas.

En la calibración de manómetros tipo Bourdon, el mensurando es el error o la corrección de medición del manómetro bajo calibración. Y para el planteamiento del modelo matemático se debe contemplar lo expresado en la ecuación 1:

$$E_{IBC} = P_{IBC} - (P_{Patrón} + C_P) + C_{P_{PH}} + \delta_{P_{res}} + \delta_{P_h} + \delta_{cero} \quad \text{Ecuación 1}$$

E_{IBC}	error de medición del manómetro bajo calibración.
P_{IBC}	promedio de las lecturas del IBC.
$P_{Patrón}$	promedio de las lecturas del patrón.
C_P	corrección del error del patrón.
$C_{P_{PH}}$	corrección por presión hidrostática. Directamente relacionada con la densidad del aire, la diferencia de alturas y la gravedad local del laboratorio.
$\delta_{P_{res}}$	corrección por error de resolución.
δ_{P_h}	corrección por histéresis.
δ_{cero}	corrección por estabilidad del cero.

Como podemos notar, el planteamiento del modelo matemático de la calibración de manómetros de tubo Bourdon incluye dos correcciones, la corrección por histéresis debida al funcionamiento del manómetro y la corrección por presión hidrostática por la localización del patrón y el IBC.

Experiencia del personal

La calibración de manómetros requiere de un conjunto diverso de habilidades técnicas, prácticas y analíticas, por lo que la experiencia adquirida por el personal cumple un rol relevante, entre otras, permite:

- Interpretar e informar correctamente los resultados de la calibración.
- Diagnosticar la causa raíz de un problema relacionado con la calibración.
- Tomar decisiones informadas sobre cómo proceder en caso de un dato fuera de los máximos tolerados.
- Transmitir conocimientos y habilidades a nuevos integrantes del equipo.
- Garantizar la continuidad y mejora continua de las prácticas de calibración.

Podemos notar que la experiencia es un activo invaluable en la calibración de manómetros. Impacta en la planeación, optimización y mejora del proceso de calibración.



Profundización del conocimiento

La capacidad de análisis, entendimiento y aplicación efectiva del conocimiento en situaciones prácticas optimiza el uso de recursos y asegura el cumplimiento de las normativas. La profundización del conocimiento permite a los técnicos y metrologos entender cómo calibrar un instrumento de medición de presión, comprender la razón detrás de cada etapa del procedimiento y, a mantenerse actualizados acerca de las innovaciones en técnicas y herramientas de calibración, asegurando que las prácticas se mantengan alineadas con los avances tecnológicos. Además, una formación integral y continua en metrología promueve un entorno en el que se desarrollan habilidades críticas para enfrentar las problemáticas asociadas al proceso de medición.

Ejemplo de aplicación

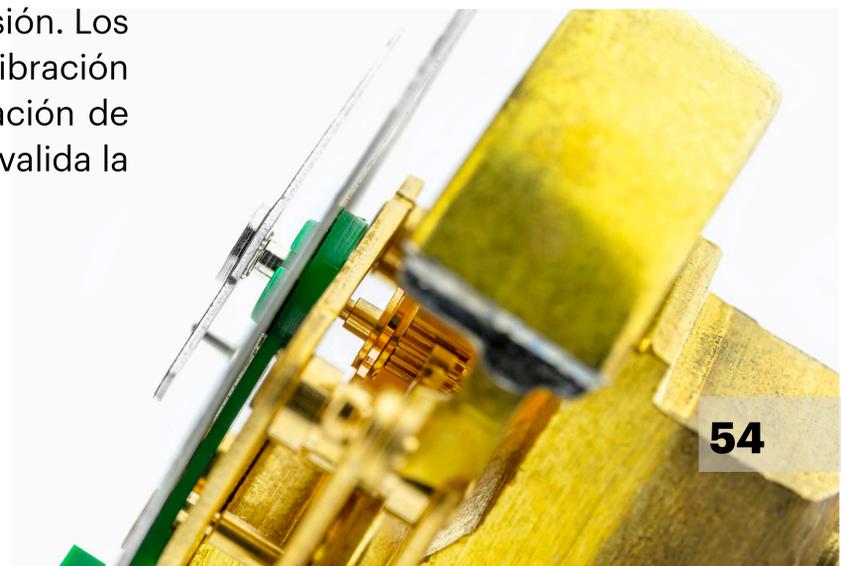
La creación e implementación del procedimiento para la calibración de manómetros de la Unidad de Metrología de la Facultad de Química, perteneciente a la Universidad Nacional Autónoma de México, consideró los aspectos esenciales descritos en este trabajo y fue retado a experimentos reales en los manómetros con las siguientes características.

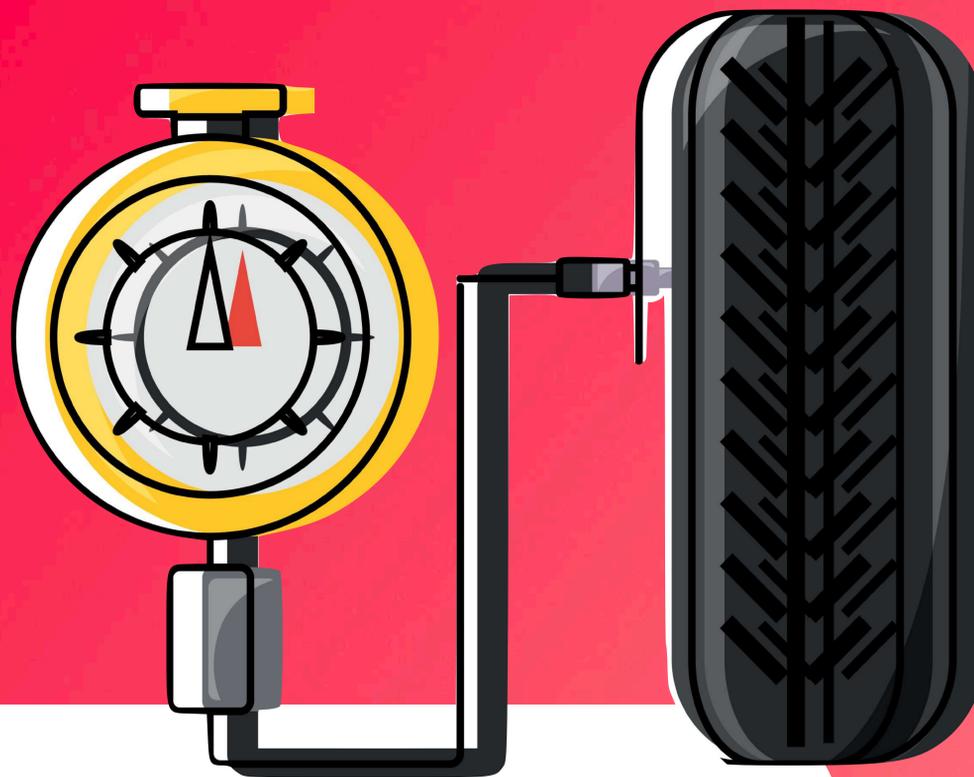


Manómetro No.	1	2	3
Identificación interna	Pre004	Pre005	Sin identificación
Resolución	2 psi	5 psi	1 psi
Alcance	De (0 a 70) psi	De (0 a 200) psi	De (0 a 30)
Marca	DeWit	METRON	WIKA
Modelo	6000B	63100-14-4	Sin modelo
Clase	2.5	2.5	3.3

TABLA 1. Características de los instrumentos empleados para la aplicación del procedimiento de calibración de manómetros de tubo Bourdon.

De los manómetros presentados en la Tabla 1, el manómetro con identificación interna Pre005 fue seleccionado para realizar un ensayo de comparación interlaboratorios frente a un laboratorio acreditado en la magnitud de presión. Los resultados de este ejercicio mostraron que, en todos los puntos de calibración informados, los resultados fueron satisfactorios bajo el criterio de evaluación de la prueba de error normalizado. Esto implica que obtener resultados ≤ 1.0 valida la competencia técnica del laboratorio.





Conclusiones

Como se puede notar implementar procedimientos de calibración efectivos requiere algunos aspectos clave que demandan un amplio análisis. Estos son:

- Incluir, a lo largo de la investigación documental, criterios de autoridades en materia de calibración, tales como laboratorios primarios, para determinar criterios que garanticen la respuesta correcta de los equipos en los entornos donde serán utilizados.
- Establecer criterios para la calibración, que consistan en la revisión constante de los medidores de presión. Este enfoque contribuye a la seguridad operativa, ya que permite identificar daños o fallas en el manómetro.
- El fundamento del proceso de medición. Entenderlo ayuda a determinar si un instrumento requiere ajuste o si presenta alguna anomalía en su comportamiento.
- Plantear un modelo matemático que permita evaluar el funcionamiento del instrumento y cómo eso está relacionado con la indicación que muestra en su carátula, de manera que se garantice la validez de los resultados.
- Experiencia del personal, con el fin de profundizar el conocimiento para una mejora continua, mediante la actualización o implementación de cambios a la documentación, nuevas herramientas útiles, e identificación de los puntos críticos y áreas de mejora.

El control metrológico de los instrumentos de medición de presión garantiza que las mediciones asociadas con la presión en la industria y los laboratorios sean confiables. Parte esencial de este control es la calibración, la cual es indispensable para asegurar la calidad de las mediciones en diversos escenarios del sector industrial y de investigación.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al Programa UNAM-PAPIME PE208024, "Herramientas digitales para la enseñanza de la metrología". También agradecemos al M. en C. Mario Chavarría Catañeda por transmitirnos su experiencia para la identificación de los elementos que conforman el modelo matemático.



Referencias:

- [1] Gutiérrez, N. (2002) Tipos de Presión & Vacío. La Guía MetAs, Año 02(3), 1-3 https://www.metas.com.mx/guia_metas/archivos/La-Guia-MetAs-02-03-Tipos-presion.pdf.
- [2] Reif-Acherman, S., & Machuca-Martinez, F. (2010). Eugène Bourdon y la evolución del manómetro. Revista Brasileira De Ensino De Física, 32(1), 1601-1610. <https://doi.org/10.1590/s1806-11172010000100020>.
- [3] La Guía MetAs (2007) El Manómetro Bourdon. https://metas.com.mx/guia_metas/archivos/La-Guia-MetAs-07-08-manometro-bourdon.pdf.
- [4] Aranzolo J. & Navarro, A. (2012, 9 de octubre) Simposio de Metrología 2012 [Simposio] Buenas prácticas en metrología de presión. México.
- [5] Buitrago, S., Orlando H., Sánchez A., Cárdenas H. & et. al. (2017) Calibración de un manómetro tipo Bourdon mediante un banco generador de alta presión empleando aceite mineral hidráulico como fluido. Ingeniería 2(1), 13-16. https://editorial.ucentral.edu.co/ojs_uc/index.php/Ingenieria/articulo/view/2350.
- [6] Physikalisch-Technische Bundesanstalt (2014) Guideline -Calibration of Pressure Gauges. (DKD-R 6-1)



¿Sabías qué?

La fuerza de un huracán se mide gracias a la metrología.

Los anemómetros permiten calcular la velocidad del viento con exactitud. Así se pueden clasificar huracanes, emitir alertas y salvar vidas.

*Edición realizada en colaboración con
Universidad Nacional Autónoma de México*

