

# Hallazgos en la Enseñanza de la Metrología: Un Análisis de 10 Años

Solis Betancur, Raúl Fernando

CENAMEP AIP

Ciudad de Panamá, Panamá

ORCID: 0000-0003-1043-4294

## Abstract

Metrology as a discipline is based on a solid understanding of scientific and industrial instrumentation, and fundamental statistics that allow for the mathematical description of what occurs in the measurement process. Therefore, training in instrumentation along with descriptive and inferential statistics enables metrologists to perform measurements, from the physical phenomenon occurring within the unit to the verification of compliance with technical specifications, national and international standards, and legal frameworks. CENAMEP AIP, as the National Metrology Institute of Panama, has the duty to maintain and safeguard the national measurement standards and disseminate metrological knowledge. Therefore, one of its functions is to provide specialized metrology courses to those who need them. It is because of these courses that some deficiencies have been observed in recent years. Therefore, the objective is to determine the level of metrological knowledge using a methodology that includes analyzing the results of participants in the courses offered (especially those related to estimating measurement uncertainty) and comparing them with surveys conducted at the regional level. The results show that education in instrumentation and statistical concepts compared to the Americas is deficient, concluding that this may affect the culture of quality of goods and services in Panama.

**Keywords:** Metrology, education, uncertainty, GUM, calibration.

## Resumen

La Metrología como disciplina está fundamentada en un conocimiento sólido de instrumentación científica e industrial, y de estadística fundamental que permita describir matemáticamente que está pasando en el fenómeno de la medición. Por ello, una educación en instrumentación junto con estadística descriptiva e inferencial le permite al metrólogo realizar mediciones desde el fenómeno físico que realiza la unidad hasta la verificación

de cumplimiento con especificaciones técnicas y normas nacionales e internacionales y marcos legales. El CENAMEP AIP, al ser el Instituto Nacional de Metrología de Panamá, tiene el deber de mantener y custodiar los patrones nacionales de medida y diseminar el conocimiento metrológico, por lo que dentro de sus funciones es la de brindar cursos metrológicos especializados al grupo que lo necesite. Y es por esos cursos dados, que se ha visto en los últimos años algunas deficiencias. Por ello, se tiene como objetivo conocer el nivel del conocimiento metrológico empleando una metodología que incluyó el analizar los resultados de los participantes de los cursos brindados (especialmente de estimación de la incertidumbre de medida) y compararlos con encuestas realizadas a nivel regional. Se tiene como resultado que la educación en conceptos de instrumentación y estadística comparado con las Américas es deficiente, concluyendo que esto puede generar afectaciones en la cultura de la calidad de bienes y servicios en Panamá.

**Palabras claves:** Metrología, educación, incertidumbre, GUM, calibración.

## 1. INTRODUCCIÓN

Panamá es un país obligado para transporte de bienes desde la época de la conquista española, haciendo que nos volviéramos en un país dependiente del desarrollo científico e industrial de otras naciones (porque es más barato adquirir que desarrollar localmente). Y es este tipo de situaciones ha generado confusiones en las personas al momento de establecer criterios técnicos, científicos, industriales y comerciales al momento de adoptar normas internacionales cuando localmente no se emplean las mismas unidades (longitudes con metro y pie, masas con libras y kilos, volúmenes con galones y litros, etc.). Adicionalmente, el proceso de desarrollo educativo nacional ha quedado rezagado en terminología estadística con la que, aun teniendo las mejores intenciones de parte de los involucrados, crean huecos en el plano legal o espacios de mala interpretación en entornos técnicos y científicos. Uno de los ejemplos más observados en metrología es la mala interpretación de las especificaciones técnicas de equipos, sistemas o los insumos y las incertidumbres asociadas a las medidas al momento que la industria busca lograr la acreditación de sus procesos frente a normas como la ISO (internacional) y la ANSI/ASTM (Estados Unidos) las cuales manejan regularmente dos sistemas de unidades diferentes: el Sistema Internacional (S.I.) y el Sistema Inglés.

<p><b>Científica</b></p> <p>Busca el modelado y ejecución de técnicas de medición, junto con el desarrollo de experimentos para la confirmación de hipótesis y nuevas teorías y así lograr nuevas definiciones de unidades y constantes universales</p>	<p><b>Campo de aplicación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo de patrones que realizan unidades del SI</li> <li>• Nuevas técnicas de medición (mediciones gravitacionales para astronomía, geo exploración, nuevos materiales, etc.)</li> <li>• Desarrollo de un sistema de mediciones universal</li> </ul>	<p><b>Se requiere:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimientos profundos en Ciencias Físicas, Químicas y Biológicas</li> <li>• Amplio <b>conocimiento en Estadística de sensores</b></li> <li>• Entendimiento profundo en <b>Tecnología de sensores</b></li> <li>• Completo conocimiento del Sistema Internacional de Unidades</li> </ul>
<p><b>Industrial</b></p> <p>Busca la verificación de cumplimiento de procesos de producción para lograr la mejora en la eficiencia de recursos empleados y así validar desarrollos tecnológicos e industriales</p>	<p><b>Campo de aplicación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplimiento de especificaciones de fabricante (fabricación de equipos)</li> <li>• Control de calidad en ensayos físicos, clínicos, biológicos y tecnológicos</li> <li>• Fabricación eficaz de equipos, elaboración de medicamentos y alimentos</li> </ul>	<p><b>Se requiere:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplio <b>conocimiento en Estadística de sensores</b></li> <li>• Entendimiento profundo en <b>Tecnología de sensores</b></li> <li>• Completo conocimiento del Sistema Internacional de Unidades</li> </ul>
<p><b>Legal</b></p> <p>Busca el cumplimiento de estándares para protección del comercio justo nacional e internacional, así como la protección de salud humana, medio ambiente y producción alimentaria</p>	<p><b>Campo de aplicación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo de leyes, normas y reglamentos técnicos</li> <li>• Realización de verificaciones para validar cumplimiento normativo</li> <li>• Jerarquización de los procesos y referencias del país</li> </ul>	<p><b>Se requiere:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conocimientos amplios en Metrología Industria</li> <li>• Conocimientos completos sobre Regulaciones y leyes Nacionales e Internacionales</li> <li>• Conocimiento de la Infraestructura Nacional para la Calidad</li> </ul>

**Figura 1. Las diferentes ramas de la metrología y sus requisitos de conocimiento.**

Como se muestra en la Figura 1, la metrología es una ciencia de influencia transversal que va desde un conocimiento científico y técnico muy sólido, hasta el desarrollo de un conocimiento más de índole legal y humanista. En términos de la metrología científica e industrial, la especialización requerida se basa fuertemente en el área de conocimiento a desarrollar en conjunto con conocimientos profundos de estadística (importante para describir matemáticamente qué está pasando) y conocimientos profundos en la tecnología de sensores empleada (como se mide el fenómeno a analizar y con qué nivel de exactitud se mide realmente).

Desde que el CENAMEP empezó a brindar cursos a la industria (cerca del año 2006), se ha necesitado ir reformando algunos cursos fundamentales, para incluir cada vez más temas de nivel formativo como es el caso de conceptos metroológicos (conceptos sobre medición, instrumentos, sensores, fuentes, incertidumbre, etc.) y estadísticos básicos (aplicación de herramientas de caracterización de la dispersión de datos, interpretación de formas de distribución, métodos de normalización, modelado estadístico, interpolación, proyecciones, etc.), para que los participantes pudieran leer, entender y desarrollar la Guía para la Estimación de la Incertidumbre de la Medida (GUM) [1], con el objetivo de poder ellos el desarrollar procesos de calibración y verificación en sus laboratorios y poder acreditarse. En Panamá, aunque se indica que a nivel superior los docentes manejan conocimientos de estadística [2], en la práctica, los participantes de los cursos demuestran desconocimientos en conceptos y su empleo a un nivel que obliga a realizar entrenamiento en esas áreas. Y

este tipo de situaciones motivó la realización de este trabajo, donde decidimos analizar los últimos 10 años (periodo 2014 – 2024) de los datos obtenidos a través de los cursos brindados por el CENAMEP en sus diferentes especialidades metrológicas, en la introducción a la metrología y en la estimación de la incertidumbre de medida, en conjunto con los resultados de encuestas y estudios a nivel del Sistema Interamericano de Metrología (SIM).

## 2. METODOLOGÍA

La adquisición de los datos se basó mediante un enfoque de Investigación Cualitativa [3], con el objetivo de normalizar las respuestas de parte de los encuestados con impacto directo en la industria panameña, principalmente de las áreas de ingenierías, física, química, biología, higiene y seguridad ocupacional, y medio ambiente. También se realizó un análisis de los planes de estudio de las Universidades donde los encuestados nacionales obtuvieron sus títulos, en temas como:

- Menciones explícitas sobre metrología: Indicación directa y clara de educación sobre metrología en su plan de estudio.
- Menciones explícitas sobre instrumentación o sensores: Indicación directa sobre estudios sobre instrumentación o tecnología de sensores.
- Menciones explícitas sobre estadística: Indicación sobre materias dedicadas a estadística o análisis estadístico.
- Menciones explícitas sobre calidad, estándares o normativa: indicación sobre normativas nacionales, internacionales o gestión de la calidad en sistemas industriales.

Para la comparativa a nivel del SIM, se empleó datos obtenidos de encuestas realizadas por el Grupo de Trabajo de Estadística e Incertidumbre del SIM (GTEI), y de estudios realizados por el SIM con respecto a la implementación de la Metrología 4.0 [4], en sus distintas subregiones: NORAMET (América del Norte), CAMET (Centroamérica), CARIMET (Caribe), ANDIMET (Comunidad Andina) y SURAMET (Mercosur). Hasta el 2024 se tenían registrado 59 laboratorios nacionales de referencia, tanto como Institutos Nacionales como Institutos Designados.

## 3. RESULTADOS

Los datos analizados muestran que las personas involucradas en procesos industriales que han tomado nuestros cursos en este periodo de tiempo iniciaron con deficiencias en conceptos técnicos básicos y acordados nacionalmente para implementar sistemas de calidad acreditados para producir bienes y brindar servicios certificados. Se analizaron 203 participantes de nivel educativo universitario o superior (se descartan los participantes sin estudios universitarios), analizándose los planes de las carreras de licenciatura de los participantes y los resultados se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1. Análisis de los planes de carreras de universidades de los participantes en cursos en el CENA-MEP AIP en el periodo bajo análisis.**

Universidad	Planes analizados	Menciones explícitas sobre metrología	Menciones explícitas sobre instrumentación o sensores	Menciones explícitas sobre estadística	Menciones explícitas sobre calidad, estándares o normativa
UP	6	3	4	3	1
UTP	6	0	3	6	4
Latina	4	2	1	4	3
USMA	2	0	2	2	1
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>9</b>

**Tabla 2. Nivel de conocimiento evaluado de los participantes de las capacitaciones dadas.**

Nivel de los participantes en cursos	Participantes	Sobre metrología (S.I.)	Sobre instrumentación (sensores y fuentes)	Sobre estadística descriptiva e inferencial	Sobre estándares o sistemas de calidad
Maestría	3	Regular	Bueno	Regular	Bueno
Ingeniería / Licenciatura	125	Regular	Regular	Regular	Bueno
Técnico	75	Regular	Regular	Bajo	Bueno

De la Tabla 2, definimos que: es Bueno cuando demuestran que tienen conocimiento completo del área (conceptos y aplicación). Es Regular cuando demuestran que tienen conocimiento parcial del área (conceptos y aplicación) y Es Bajo cuando demuestran que tienen conocimiento suficiente del área (conceptos y aplicación). También cabe destacar que, a nivel regional, Panamá no está muy alejado de los resultados de los demás países de la región CAMET y CARIMET.

**Tabla 3. Comparación de resultados de las encuestas realizadas a nivel del GTEI a nivel SIM sobre el nivel de conocimiento en las distintas áreas analizadas en el periodo de análisis.**

Área de SIM	Sobre metrología (S.I.)	Sobre instrumentación (sensores y fuentes)	Sobre estadística descriptiva e inferencial	Sobre estándares o sistemas de calidad
NORAMET	Alto	Alto	Alto	Alto
SURAMET	Alto	Alto	Bueno	Alto
ANDIMET	Alto	Bueno	Bueno	Alto
CAMET	Bueno	Bajo	Bajo	Medio
CARIMET	Bueno	Bajo	Bajo	Alto
<b>Panamá</b>	<b>Medio</b>	<b>Bajo</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>

De la tabla 3, definimos que: Alto significa que tienen conocimientos completos en las áreas tratadas (conceptos y aplicación) y por lo general lideran desarrollos, nuevas tecnologías y comparaciones del más alto nivel de exactitud posible en el área. Bueno significa que tienen conocimientos eficaces en las áreas tratadas (conceptos y aplicación) y regularmente son de los mejores implementando servicios y desarrollos industriales, participan en comparaciones internacionales, y lideran comparaciones a nivel regional con niveles de exactitud por lo general por encima de lo que requiere la industria local. Medio significa que tienen conocimientos parciales en las áreas tratadas (conceptos y aplicación) y normalmente solo implementan lo que otros laboratorios ya han desarrollado, con modificaciones para adaptarlos a las necesidades de sus comunidades o industrias y solo participan en comparaciones internacionales para lograr el reconocimiento en el área y poder demostrar aptitud técnica. Bajo significa que tienen conocimientos suficientes de las áreas tratadas (conceptos y aplicación) y regularmente son los laboratorios que solo implementan algo normado (reglamentos técnicos internacionales o reglamentos técnicos nacionales adaptados de reglamentos internacionales) y sin desarrollos propios, no tienden a participar en comparaciones internacionales y solo buscan demostrar aptitud para certificarse frente a sus organismos regulatorios.

## 4. CONCLUSIONES

En la región CAMET (la cual pertenece Panamá) es una región bastante desigual, en la cual se prefiere aplicar e implementar métodos de medición normalizados, pero algunos tienen altos niveles de regulación para importar y comercializar productos. También se desarrollan métodos propios para algunas áreas de medición, como es el caso de Costa Rica (altamente regulado en muchas áreas técnicas con desarrollos avanzados en metrología química) y Panamá (orientado a una economía de servicios con regulaciones de más de 20 años sin

actualizar y con deficiencias regulatorias en áreas nuevas o emergentes) y en la que se lideran algunas comparaciones internacionales, principalmente bajo proyectos o intereses puntuales.

A pesar de que la Metrología como ciencia es bastante madura (Tratado del Metro del 20 de mayo de 1875), en Panamá no ha avanzado adecuadamente en la adopción de ella en el marco científico, industrial y legal continuando, por ejemplo, el empleo incorrecto de la nomenclatura de las unidades del S.I. (separador decimal y de miles, expresión de unidades y empleo de unidades fuera del S.I.), la falencias en los análisis estadísticos y las expresiones numéricas asociadas a la lectura de las especificaciones técnicas, y el desconocimiento en la definición de las herramientas estadísticas que necesitan. Todo esto impulsa una afectación negativa a la cultura de la calidad en el desarrollo de productos y la prestación de servicios, la salvaguarda de la seguridad y la salud humana, protección del ambiente y el comercio justo.

## Referencias

- [1] BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, y OIML. "Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement". Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 100:2008. doi:10.59161/JCGM100-2008E.
- [2] E. Matus, L. Matus, D. T. Svetlana, and L. Rodríguez, "Estructura Psicométrica de la Escalada de Actitudes ante la Estadística (EAE-2020)," 2023. <https://repositorio.ciedupanama.org/handle/123456789/412>
- [3] R. Q. Lecanda y C. M. C. Garrido. "Introducción a la metodología de investigación cualitativa. Revista de Psicodidáctica". Volumen 14, número 14, pp. 5–40, 2002, [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17501402>
- [4] Valqui, A., Casaburi, G., & Suaznabar, C. (2019). "Metrología 4.0: Desafíos de la transformación digital para la metrología de América Latina y el Caribe". <https://doi.org/10.18235/0001917>

## Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Ni APANAC 2025 ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.