

“DE LA INNOVACIÓN A LA CONFIANZA: METROLOGÍA, TALENTO Y TECNOLOGÍA”

Autor principal: M. Sc. Alejandra Regla Hernández Leonard¹

Correo electrónico: alehl@inimet.cu **Código ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7484-376X>

Coautores:

M. Sc. Rita Catalina Sosa Vera²; EPG José Andrés Zaldívar Chacón¹; EPG Eloína Rodríguez Castillo²; Dr. C. Hortensia Nancy Fernández Rodríguez³; Dr. C. Félix María Agüero Díaz¹; M. Sc. Maydelín Limonta Cairo¹; M. Sc. Fran Javier Buzón González¹; M. Sc. Sandra Claudina Pedro Valdés¹; M.Sc. Mirtha Juana Navarro González¹; M. Sc. María de los Ángeles Álvarez Álvarez¹; M. Sc. Regla Caridad Inchaurtietta Ramos¹; Téc. Patricia González Rivera; Dr. C. Ivón Oristela Benítez González⁴; Téc. Lorenzo Delgado Rodríguez¹

Colaboradores:

Dr. C. Ysabel Reyes Ponce⁵; M. Sc. Lourdes Soria Lara⁶; Lic. Annette Pérez Ferrer⁷; Dr. C. Adalay Serra Castro⁸; Téc. Alina García Rodríguez¹; Téc. Caridad Verónica Hernández de la Torre²; Téc. Yesterman Duboys Charón¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología, INIMET

²Centro de Gestión y Desarrollo de la Calidad, CGDC

³Oficina Nacional de Normalización, NC

⁴Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echevarría”, CUJAE

⁵Academia de Ciencias de Cuba, ACC

⁶Dirección de Educación Técnica y Profesional del Ministerio de Educación, DETP MINED

⁷Dirección de Recursos Humanos del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, DRH CITMA

⁸Dirección de Posgrado del Ministerio de Educación Superior, DPG MES

RESUMEN:

La transición de una idea innovadora a un producto exitoso en el mercado es un proceso crítico que depende fundamentalmente de la generación de confianza. Esta ponencia postula que dicha confianza no es un subproducto espontáneo, sino el resultado de una sinergia estratégica entre tres pilares fundamentales: la Metrología, ciencia de las mediciones, como base científica incuestionable, el talento humano, capacidad para utilizar estas herramientas y generar datos fiables; y la tecnología digital, que amplifica las capacidades de ambos. Se argumenta que la Infraestructura Nacional de la Calidad (INC) es el ecosistema que orquesta esta sinergia, actuando como un catalizador para la dinamización económica, la atracción de inversiones y la apertura de nuevos mercados. La conclusión subraya la necesidad de políticas públicas y estrategias empresariales que prioricen la inversión en este triángulo virtuoso como requisito indispensable para una economía innovadora y resiliente.

Palabras clave: metrología, confianza, innovación, talento, tecnología digital, Infraestructura Nacional de la Calidad, competitividad.

INTRODUCCIÓN

La carrera por la innovación define la competitividad en este siglo XXI. Aún cuando las empresas y los países invierten grandes recursos en I+D+i, inteligencia artificial y transformación digital, se suele pasar a un segundo plano un principio fundamental: la innovación sin verificación es meramente una idea, porque un producto revolucionario que falla en condiciones reales, cuyas especificaciones no son reproducibles o cuyos datos no son confiables, está condenado al fracaso.

Es aquí donde la metrología, ciencia de las mediciones y sus aplicaciones, demuestra que no es solo una disciplina técnica relegada a los laboratorios de calibración, sino un pilar estratégico de la innovación y la competitividad. Esta ponencia reconoce que el talento humano es la fuerza dinamizadora más importante de cualquier proceso innovador y desarrolla la tesis de que el talento humano, cuando está imbuido de una mentalidad y un conocimiento metrológico sólido, se convierte en el catalizador más potente para una innovación robusta y exitosa, se trasforma en un agente capaz de generar productos no sólo novedosos y verdaderamente innovadores, sino también confiables y escalables. Y es la confianza el elemento transversal, a menudo intangible, pero que determina el éxito final de la introducción de un nuevo producto en el mercado.

La confianza, en un contexto técnico-económico, es la certeza que tiene un cliente, un inversionista o un regulador, de que un producto o servicio cumplirá con las especificaciones, normativas y expectativas prometidas, de forma consistente y segura. Es el puente que permite a una innovación trascender del laboratorio o taller al mercado global.

Los autores de este trabajo se han unido para la elaboración de una estrategia general para la formación de fuerza de trabajo calificada y la elevación de las competencias de directivos, especialistas y funcionarios en materia de Metrología, en un proyecto I+D+i ejecutado por el Instituto de Investigaciones en Metrología y financiado por el programa sectorial de Normalización, Metrología, Calidad y Acreditación.

DESARROLLO

I. Marco conceptual

1.1. Metrología

Tradicionalmente, la metrología se ha asociado a la calibración de instrumentos y la comprobación del cumplimiento de normas. Sin embargo, su esencia es mucho más profunda: es el lenguaje de la evidencia y la base para la confianza técnica porque proporciona la base experimental para la validación de cualquier desarrollo tecnológico. Su contribución a la confianza se basa en cuatro elementos:

Trazabilidad: Garantiza que las mediciones realizadas en un producto o proceso sean comparables y estén vinculadas a patrones nacionales o internacionales reconocidos (por ejemplo, Sistema Internacional de Unidades, el SI). Un milímetro medido en una fábrica debe ser exactamente el mismo que un milímetro medido en cualquier otra parte del mundo. Esta trazabilidad es el lenguaje universal de la precisión.

Incertidumbre de medición: Cuantifica la duda asociada a cualquier resultado de medición. Un resultado sin una declaración de incertidumbre carece de significado científico completo. La

correcta evaluación de la incertidumbre permite tomar decisiones informadas sobre la conformidad de un producto, mitigando riesgos técnicos y legales.

Normalización: Permite la interoperabilidad y el intercambio fiable de datos.

Validez metrológica: Proporciona la evidencia objetiva de que un sistema de medición (instrumento, procedimiento, operador) es apto para su uso previsto. Sin esta validación, los datos generados por una innovación son meramente anecdóticos.

Cuando estos cuatro elementos se integran en las primeras etapas del proceso innovador, cambia la naturaleza misma de la creación.

1.2. Talento: El factor humano capacitado

Los instrumentos de medición más avanzados son insuficientes sin el talento que sabe qué medir, cómo medirlo y cómo interpretar los resultados en un contexto de innovación. La infraestructura metrológica más avanzada es inútil sin el talento capaz de operarla, interpretarla y gestionarla.

Un profesional con formación metrológica aporta:

Pensamiento sistemático y crítico: No da por sentado ningún resultado de medición, cuestiona los métodos, identifica fuentes de error y diseña experimentos robustos.

Precisión en la definición del problema: Ayuda a transitar de “queremos un sensor más rápido” a “necesitamos un sensor que mida [magnitud] con una resolución de [X], una incertidumbre de [Y] y una velocidad de muestreo de [Z] en un intervalo de medición [R]”. Esta precisión es la brújula del desarrollo.

Capacidad de “medir lo invisible”: La innovación de vanguardia, en la frontera del conocimiento, a menudo implica cuantificar fenómenos nuevos (por ejemplo, la eficacia de una interfaz cerebro-computadora o la pureza de un nanomaterial). El talento metrológico desarrolla patrones y procedimientos de medición para lo que antes era invisible.

El talento humano se refiere a profesionales con una formación dual:

Competencias científico-técnicas: Un conocimiento profundo de los principios metrológicos, la estadística, los procedimientos de calibración y los requisitos normativos específicos de su sector (ISO/IEC 17025, ISO 9001, etc.)

Habilidades digitales avanzadas: La capacidad de trabajar con grandes volúmenes de datos (*Big data*), programar algoritmos para el control de procesos, utilizar inteligencia artificial para el análisis predictivo de datos de medición y entender los principios de ciberseguridad en entornos industriales (Internet Industrial de las cosas, IIoT).

Este talento especializado actúa como el traductor entre el lenguaje de la ciencia pura (Metrología) y el lenguaje de la aplicación comercial (tecnología). Es el ingeniero que diseña un sensor, el químico que valida un nuevo fármaco o el técnico que calibra el equipo de un hospital; todos ellos son eslabones críticos en la cadena de confianza.

1.3. Tecnología: el amplificador de capacidades.

La revolución digital ha redefinido el panorama de la metrología, y por eso en esta ponencia se asume que la tecnología actúa como un multiplicador de fuerza para los otros dos pilares. Se pueden presentar los siguientes ejemplos:

Metrología 4.0: Incorporación de sensores inteligentes, gemelos digitales (*digital twins*) para simular y optimizar procesos, y la IIoT para una monitorización en tiempo real y remota. Esto permite un control de la calidad continuo y proactivo, en lugar de basado en muestreos puntuales.

Blockchain para la trazabilidad: la tecnología de cadena de bloques puede utilizarse para crear registros de calibración inmutables y transparentes, aumentando exponencialmente la confianza en los datos a lo largo de toda la cadena de suministro.

Computación en la nube y Big Data: Facilita el acceso a patrones de referencia virtuales y el análisis de grandes volúmenes de datos de medición para identificar tendencias, predecir fallos y optimizar procesos.

La tecnología no reemplaza al talento ni a la metrología fundamental; sólo los dota de herramientas más potentes, rápidas y accesibles.

II. Mecanismos de generación de confianza e impacto económico.

La interacción de la Metrología, el talento y la tecnología genera confianza a través de mecanismos concretos:

1. **Reducción de la asimetría de información:** cuando un producto cuenta con certificados de calibración trazables e informes de ensayo válidos, el comprador tiene la misma información que el fabricante sobre su rendimiento. Esto nivela el campo de juego y reduce el riesgo percibido.
2. **Facilitación del comercio:** Las barreras técnicas al comercio (BTC) se superan mediante el reconocimiento mutuo de los sistemas de evaluación de la conformidad. Una Infraestructura Nacional de Calidad robusta, sustentada en esta triada es la llave para los acuerdos de reconocimiento internacional (como los acuerdos CIPM MRA), permitiendo que los productos nacionales sean aceptados en mercados globales sin necesidad de re-ensayos costosos.
3. **Mitigación de riesgos:** En sectores críticos como son el farmacéutico, el aeronáutico o el energético, un error de medición puede tener consecuencias catastróficas. La aplicación rigurosa de estos pilares minimiza el riesgo de fallos, protegiendo vidas, el medio ambiente y la reputación de las empresas.
4. **Aceleración de la I+D+i:** En las fases de investigación y desarrollo, la disponibilidad de mediciones fiables acorta los ciclos de iteración, permitiendo a los innovadores validar o descartar hipótesis con mayor rapidez y certeza.

Está demostrado que el impacto económico es directo:

Dinamización económica: Las empresas que operan con altos estándares de calidad son más productivas, sufren menos mermas y retornos e producto, y pueden acceder a mercados de mayor valor añadido.

Atracción de inversiones: Las empresas multinacionales requieren cadenas de suministro confiables y proveedores competentes. Por esa razón, un país con una INC fiable, y una fuerza de trabajo altamente calificada y con espíritu innovador, es un destino más atractivo para la inversión extranjera directa.

Apertura de nuevos mercados: La confianza generada permite al empresariado nacional competir en las licitaciones internacionales y exportar a países con exigentes regulaciones técnicas.

III. Implicaciones para la formación y la cultura organizacional

Para materializar este potencial, es necesario un cambio de paradigma:

1. **Educación interdisciplinaria:** Los planes de estudio en ingeniería, diseño y ciencias deben incorporar la metrología no como una asignatura aislada, sino como un principio transversal.
2. **Metrología integrada en el ciclo de vida del producto:** Los equipos de metrología deben ser participantes activos desde la fase de conceptualización, no auditores al final del proceso.
3. **Cultura de la medición fiable:** Las organizaciones deben fomentar una cultura donde la cuantificación rigurosa y la honestidad sobre la incertidumbre sean valoradas por encima del exceso de confianza o los plazos irracionales.

IV. Conclusiones y recomendaciones estratégicas

La innovación del futuro no será juzgada solo por su brillantez conceptual, sino por su solidez, confiabilidad y capacidad para integrarse en sistemas complejos. En este escenario, el talento armado con conocimientos metrológicos se erige como el activo más valioso. Es este binomio el que cierra la brecha entre una idea prometedora y un producto transformador, entre el prototipo de laboratorio y la solución de mercado. Invertir en forjar este tipo de talento no es una opción técnica; es una estrategia fundamental para cualquier ecosistema que aspire a liderar la creación de valor en la economía global.

El camino “De la innovación a la confianza” es un proceso sistemático que requiere una base científica sólida. La Metrología proporciona los cimientos, el talento humano erige la estructura y la tecnología la dota de la eficiencia y escalabilidad necesarias para el siglo XXI. La Infraestructura Nacional de la Calidad es el marco que integra estos tres pilares en un ecosistema coherente y al servicio de la industria y la sociedad.

Para materializar este potencial, se proponen las siguientes recomendaciones estratégicas:

1. Para los organismos públicos:
 - Fortalecer la financiación y las capacidades de los Institutos Nacionales de Metrología, con un enfoque en la digitalización (Metrología 4.0)
 - Integrar la formación en metrología y habilidades digitales en los programas de educación técnica y universitaria.
 - Promover esquemas de subsidio o crédito para que las pymes accedan a servicios de calibración y ensayos avanzados.
2. Para la Academia y Centros de Investigación:

- Desarrollar programas de posgrado interdisciplinarios que combinen metrología, ciencia de datos e ingeniería.
 - Fomentar la investigación aplicada en metrología para los sectores estratégicos del país (por ejemplo, energías renovables, biotecnología).
3. Para el Sector Empresarial:
- Considerar la gestión metrológica no como un costo, sino como una inversión estratégica en confianza y competitividad.
 - Invertir en la capacitación continua de su talento humano en las competencias descritas.
 - Adoptar tecnologías digitales que permitan una gestión inteligente de los datos de medición.

En resumen, en un mundo cada vez más complejo e interconectado, la confianza es el activo más valioso. Construirla sobre los pilares de la Metrología, el Talento y la Tecnología no es una opción, sino una imperiosa necesidad para la prosperidad económica nacional.

V. Bibliografía:

Hernández Leonard, AR. Experiencias en la implementación de la carrera de Técnico Superior en Metrología: logros, desafíos y perspectivas. Ponencia presentada en el evento de base del Fórum por la Innovación INIMET 2025, Inédita.

Ministerio de Educación Superior. Plan de estudio Nivel de Educación Superior. Técnico Superior en Metrología, 2022. La Habana.