

Metrología, innovación y Gestión Organizacional

M.Sc. José Andrés Zaldívar Chacón

E-mail: jazchac@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7541-7754>

Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET), La Habana, Cuba

Resumen

En el contexto de la Cuarta Revolución Industrial y la creciente digitalización, la innovación se ha consolidado como el motor principal de la competitividad y la sostenibilidad empresarial. Sin embargo, la innovación desprovista de una base empírica y cuantificable corre el riesgo de permanecer en el ámbito de las ideas abstractas, sin generar valor tangible. Este artículo presenta un análisis conceptual sobre el rol fundamental y estratégico de la metrología —la ciencia de la medición— como pilar indispensable para la innovación efectiva y la gestión organizacional avanzada. A partir de la premisa "Sin Metrología, la Innovación es Sólo una Idea", se argumenta que la capacidad de medir con precisión, trazabilidad y confiabilidad es la condición habilitante para transformar conceptos innovadores en realidades tecnológicas, productos y procesos optimizados. Se explora cómo la metrología trasciende su visión tradicional de simple verificación y cumplimiento para convertirse en una herramienta estratégica de creación de valor, impactando directamente en la toma de decisiones, la optimización de procesos, la gestión de riesgos y la confianza del cliente. El estudio profundiza en la aplicación de este principio en sectores de alta tecnología como la nanotecnología, la biotecnología y las energías renovables, y examina el papel crítico de la metrología en nuevos mercados como el de carbono. Se propone un modelo de "ciclo virtuoso" (Medir, Innovar, Crecer) donde la inversión en capacidades metrológicas alimenta la generación de datos confiables, que a su vez impulsan la innovación reproducible y el crecimiento sostenible. Finalmente, se redefine el rol del metrologo, pasando de un perfil técnico a uno de estrategia, cuya misión es integrar el pensamiento metrológico en el núcleo de la estrategia empresarial para construir un futuro basado en la confianza y el progreso.

Palabras Clave: Metrología, Innovación, Gestión Organizacional, Pensamiento Sistémico, Toma de Decisiones Basada en Datos.

Abstract

In the context of the Fourth Industrial Revolution and increasing digitalization, innovation has established itself as the primary driver of business competitiveness and sustainability. However, innovation devoid of an empirical and quantifiable basis risks remaining in the realm of abstract ideas, failing to generate tangible value. This paper presents a conceptual analysis of the fundamental and strategic role of metrology—the science of measurement—as an indispensable pillar for effective innovation and advanced organizational management. Based on the premise "Without Metrology, Innovation is Just an Idea," it is argued that the ability to measure with precision, traceability, and reliability is the enabling condition for transforming innovative concepts into technological realities, optimized products, and processes. It explores how metrology transcends its traditional view of mere verification and compliance to become a strategic value-creation tool, directly impacting decision-making, process optimization, risk management, and customer trust. The study delves into the application of this principle in high-tech sectors such as nanotechnology, biotechnology, and renewable energies, and examines the critical role of metrology in new markets like the carbon market. A "virtuous cycle" model (Measure, Innovate, Grow) is proposed, where investment in metrological capabilities fuels the generation of reliable data, which in turn drives reproducible innovation and sustainable growth. Finally, the role of the metrologist is redefined, shifting from a technical profile to that of a strategist, whose mission is to integrate metrological thinking into the core of business strategy to build a future based on trust and progress.

Keywords: Metrology, Innovation, Organizational Management, Systems Thinking, Data-Driven Decision-Making.

1. Introducción

La metrología, definida como la ciencia de la medición y sus aplicaciones (Bureau International des Poids et Mesures [BIPM] et al., 2021) constituye la infraestructura invisible sobre la cual se construye la confianza en los datos en todos los ámbitos de la actividad humana, desde la investigación científica hasta la producción industrial y el comercio internacional. Históricamente, su rol dentro de las organizaciones se ha limitado con frecuencia a los laboratorios de calibración y control de calidad, siendo vista como una función de soporte técnico y de cumplimiento normativo (Pendrell, 2014). Sin embargo, en el contexto económico actual, caracterizado por la globalización, la creciente complejidad tecnológica y la aceleración de los ciclos de innovación, esta perspectiva resulta insuficiente y limitante.

La capacidad de una organización para innovar se ha convertido en un determinante crítico de su supervivencia y éxito. La innovación no es un evento aislado, sino un proceso sistemático que requiere de información fiable, reproducible y trazable para reducir la incertidumbre inherente al desarrollo de lo nuevo (Tidd & Bessant, 2020). Es en este punto donde la metrología emerge como un catalizador fundamental. En este entorno, la capacidad de innovar no es simplemente una opción, sino un imperativo para la supervivencia, la competitividad y el crecimiento sostenible de cualquier organización. La innovación, entendida como un producto o proceso nuevo o mejorado (o una combinación de ambos) que difiere significativamente de los productos o procesos anteriores de la unidad y que se ha puesto a disposición de los usuarios potenciales (producto) o ha sido incorporado al uso por la unidad (proceso) (OCDE/Eurostat, 2018), es el motor que permite a las empresas adaptarse a las demandas cambiantes del mercado y generar ventajas competitivas duraderas. Sin embargo, la literatura y la práctica empresarial a menudo se centran en los resultados de la innovación, descuidando un componente fundamental que subyace a todo el proceso: la capacidad de medir.

El presente trabajo se fundamenta en una premisa provocadora pero esencial: "Sin Metrología, la Innovación es Sólo una Idea". Esta afirmación encapsula la tesis central de que la metrología, la ciencia de la medición y sus aplicaciones constituye la infraestructura crítica y el lenguaje común que permite a la innovación trascender el plano conceptual para materializarse en valor tangible. Tradicionalmente, la metrología ha sido relegada a un rol de soporte técnico, asociada principalmente al control de calidad, la calibración de instrumentos y el cumplimiento de normas. Esta visión, si bien necesaria, es profundamente limitada y no captura el potencial estratégico de la disciplina en la era del conocimiento y los datos.

Este trabajo busca superar el paradigma tradicional de la metrología, proponiendo una visión estratégica que la posiciona como un catalizador fundamental para la innovación y un pilar del pensamiento sistémico en la gestión organizacional.

Materiales y métodos

El presente estudio adopta un enfoque de investigación conceptual y descriptivo. La metodología se basa en un análisis cualitativo y una síntesis argumentativa, estructurada en dos pilares fundamentales: 1. Análisis de Documento Fundacional: Se ha tomado como punto de partida el contenido del documento "Metrología, innovación y gestión organizacional" del Lic. José Andrés Zaldívar Chacón, del Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología (INIMET) de Cuba. Este material, concebido originalmente como una presentación, se considera una fuente primaria de alta relevancia que encapsula una visión estratégica y vanguardista sobre el rol de la metrología. 2. Revisión Sistemática de la Literatura: Para dotar de robustez académica y actualidad al análisis, se ha complementado el documento fundacional con una revisión exhaustiva de la literatura científica reciente. La búsqueda se ha centrado en artículos de revistas de alto impacto (peer-reviewed), libros y reportes técnicos publicados preferentemente en los últimos cinco años (2020-2025), para asegurar la pertinencia y el alineamiento con el estado del arte. Las bases de datos consultadas incluyen Scopus, Web of Science, Google Scholar y ScienceDirect.

Las palabras clave utilizadas en la búsqueda fueron: "metrology", "innovation", "organizational performance", "systems thinking", y sus equivalentes en español.

4. Resultados y Discusión.

La Metrología como Eje Estratégico

El análisis revela una necesaria y urgente transición en la percepción y aplicación de la metrología dentro de las organizaciones. Esta sección desglosa dicha transición, explora sus implicaciones en sectores de vanguardia y propone un modelo cíclico que integra la medición como motor de crecimiento.

4.1. Superando el Paradigma: De la Visión Tradicional a la Creación de Valor

La concepción histórica de la metrología la ha encasillado en un rol reactivo y de control. La "visión tradicional" la percibe como un mecanismo para "garantizar el cumplimiento" de normas y especificaciones, actuando como una especie de "policía de la medición". En este paradigma, el metrologo es un técnico que verifica la conformidad de productos y procesos, y su función se activa principalmente cuando se detectan desviaciones. Su valor se mide en términos de prevención de no conformidades y aseguramiento de la calidad.

Sin embargo, el entorno competitivo actual exige un cambio radical hacia una "visión estratégica". Esta nueva perspectiva no reemplaza la función de verificación, sino que la subsume en un objetivo superior: la creación de valor.



*Figura 1. Transición de la Visión Tradicional a la Visión Estratégica de la Metrología.
Fuente: Elaboración propia.*

En esta visión estratégica, la metrología se convierte en un agente proactivo que contribuye directamente a los objetivos de negocio. Sus funciones clave se expanden para:

- **Habilitar la innovación:** Proporcionando las mediciones precisas y confiables que son indispensables para la investigación, el desarrollo y la validación de nuevas tecnologías y productos.
- **Optimizar procesos:** Generando datos fiables que permiten entender, controlar y mejorar continuamente los procesos productivos, reduciendo la variabilidad, minimizando desperdicios y aumentando la eficiencia.
- **Crear confianza:** Siendo la base objetiva que sustenta la calidad de los productos, la seguridad de los procesos y la transparencia en las transacciones, fortaleciendo la credibilidad ante clientes, reguladores y la sociedad en general.

Este cambio de paradigma es fundamental. Mientras la visión tradicional se enfoca en "medir cosas", la visión estratégica se enfoca en "habilitar el futuro". No se trata solo de calibrar un instrumento, sino de asegurar que los datos que ese instrumento genera sean la base para una decisión de inversión millonaria, para el lanzamiento de un producto disruptivo o para garantizar la seguridad de un paciente.

4.2. Sin Metrología, la Innovación es Sólo una Idea: Aplicaciones en Sectores Clave

La premisa central de este artículo se manifiesta con especial claridad en los sectores de alta tecnología, donde los límites del conocimiento se expanden constantemente y la precisión es un factor no negociable. La innovación en estos campos es intrínsecamente dependiente de la capacidad de medir fenómenos a escalas cada vez más pequeñas, con mayor exactitud y en entornos más complejos.

4.2.1. Nanotecnología y Semiconductores

La industria de los semiconductores, motor de toda la revolución digital, se basa en la miniaturización continua de los transistores, siguiendo la Ley de Moore. Hoy en día, se fabrican chips con arquitecturas de 2 nanómetros (nm) y se buscan menores (ver Figura 2). A esta escala, la pregunta "¿Innovación sin medición atómica?" se vuelve retórica. La fabricación de estos dispositivos (litografía, deposición, grabado) requiere un control dimensional y de propiedades de materiales con precisiones sub-nanométricas. La metrología dimensional avanzada, utilizando técnicas como la microscopía de fuerza atómica (AFM) y la microscopía electrónica de transmisión (TEM), no es un control de calidad al final del proceso, sino una parte integral y habilitante del mismo. Sin la capacidad de medir y controlar con fiabilidad estas dimensiones, la producción en masa de chips avanzados sería imposible, y la innovación en computación, inteligencia artificial y telecomunicaciones se detendría. Como señala Zhao et al., la metrología óptica es una contribución esencial para la fabricación avanzada, ofreciendo la alta precisión necesaria para el progreso futuro.

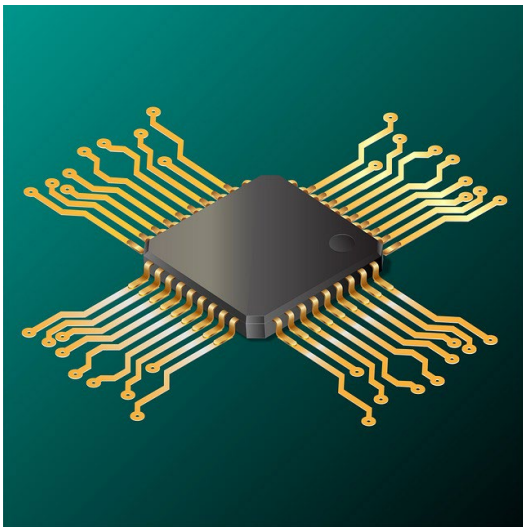


Figura 2. La frontera de la nanotecnología. La fabricación de semiconductores a escalas de 2 nm. Fuente: <https://pixabay.com/es/photos/electrónica-procesador-ic-datos-3373109/>

4.2.2. Biotecnología y Salud

En el sector de la salud, la precisión puede ser la diferencia entre la vida y la muerte. El diagnóstico médico moderno depende de mediciones cuantitativas de biomarcadores en fluidos corporales. Por ejemplo, en una prueba de PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa), la cuantificación precisa de material genético viral es crucial para determinar la carga viral de un paciente (ver Figura 3). La pregunta "¿Diagnósticos precisos sin trazabilidad?" apunta al corazón de la metrología química y biológica. La trazabilidad metrológica asegura que el resultado de una medición en un hospital de La Habana sea comparable con el de un laboratorio en Tokio. Esto se logra a través de una cadena ininterrumpida de comparaciones que llega hasta los materiales de referencia primarios y los métodos de referencia, mantenidos por los Institutos Nacionales de Metrología. Sin esta infraestructura de trazabilidad, la fiabilidad de los diagnósticos clínicos se desmoronaría, afectando la atención al paciente, la investigación epidemiológica y el desarrollo de nuevos fármacos y terapias. La metrología en este campo garantiza que las decisiones clínicas se basen en datos confiables,

4.2.3. Energías Renovables y Sostenibilidad

La transición energética hacia fuentes renovables como la solar y la eólica es una de las mayores innovaciones de nuestro tiempo, impulsada por la necesidad de combatir el cambio climático. La eficiencia es la palabra clave en este sector. La pregunta "¿Eficiencia sin medición certificada?" resalta el rol de la metrología en la optimización y validación del rendimiento de estas tecnologías (ver Figura 4). La potencia de salida de un panel fotovoltaico debe medirse bajo condiciones estándar de irradiación solar y temperatura para que su ficha técnica sea fiable. La eficiencia de una turbina eólica depende de mediciones precisas de la velocidad del viento y del rendimiento de sus componentes. La innovación en este campo, como el desarrollo de nuevos materiales para celdas solares o diseños de palas más aerodinámicas, requiere una mejora paralela en las técnicas de medición para cuantificar de forma fiable los incrementos de eficiencia. La metrología no solo valida el rendimiento, sino que también proporciona los datos

necesarios para optimizar el diseño y la operación de plantas enteras, maximizando la generación de energía y la rentabilidad de la inversión .



Figura 4. Medición para la sostenibilidad. La eficiencia y rentabilidad de las energías renovables dependen de mediciones certificadas que validen su rendimiento y guíen la innovación. Fuente: <https://pixabay.com/es/photos/turbina-eólica-energía-eólica-6915012/>.

4.3. La Metrología como Columna Vertebral del Pensamiento Sistémico

La visión estratégica de la metrología la posiciona como un elemento central del pensamiento sistémico organizacional. En un sistema complejo como una empresa, las diferentes funciones (operaciones, finanzas, marketing, I+D) están interconectadas. La metrología, al proporcionar un "lenguaje común" basado en datos objetivos y confiables, actúa como el tejido conectivo que integra estas funciones.

Como se esquematiza en la Figura 5, los "Datos Confiables" son el núcleo del que dependen y al que contribuyen las funciones críticas de la organización. La toma de decisiones estratégicas, la optimización de procesos, la gestión de riesgos y la construcción de la confianza del cliente no son posibles sin una base de datos robusta y veraz. La metrología es la disciplina que asegura la integridad de esa base de datos.

- **Toma de Decisiones:** Las decisiones estratégicas (ej. entrar en un nuevo mercado, realizar una gran inversión) se basan en proyecciones y análisis. Si los datos de entrada (ej. rendimiento de producción, costes, calidad) son imprecisos, el análisis será erróneo y la decisión, arriesgada.

- Optimización de Procesos: Metodologías como Six Sigma o Lean Manufacturing dependen de la Medición, Análisis, Mejora y Control. El primer paso, la medición, es fundamental. Sin mediciones precisas de la variabilidad del proceso, es imposible identificar las causas raíz de los problemas y optimizarlo.
- Gestión de Riesgos: La evaluación de riesgos (operativos, financieros, de reputación) requiere cuantificar la probabilidad y el impacto de eventos adversos. La metrología proporciona los datos para modelar estos riesgos de manera más precisa, pasando de una gestión cualitativa a una cuantitativa.
- Confianza del Cliente: La confianza se construye sobre la consistencia. Un cliente confía en una marca cuando el producto o servicio que recibe cumple consistentemente con sus expectativas. Esa consistencia es el resultado de procesos controlados, y ese control se basa en mediciones confiables.

Por lo tanto, la metrología no es una función aislada del departamento de calidad. Es la columna vertebral que soporta la inteligencia de toda la organización, permitiendo que las diferentes partes del sistema se comuniquen y operen de manera coherente y alineada con los objetivos estratégicos.

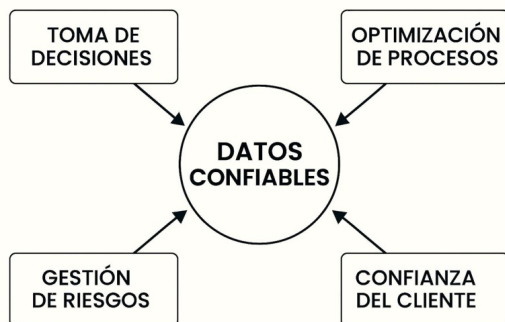


Figura 5. La Metrología como Columna Vertebral del Pensamiento Sistémico. Los datos confiables, garantizados por la metrología, son el fundamento para las funciones críticas de la gestión organizacional. Fuente: Elaboración propia.

4.4. El Ciclo Virtuoso: Medir, Innovar, Crecer

La integración de la metrología en la estrategia organizacional no es un acto único, sino un proceso dinámico y continuo que puede describirse como un "ciclo

virtuoso". Este ciclo, ilustrado en la Figura 6, demuestra cómo la inversión en capacidades de medición se traduce en un crecimiento sostenible y una mayor competitividad.



Figura 6. El Ciclo Virtuoso de la Metrología y la Innovación.

Fuente: Elaboración propia.

El ciclo se compone de cuatro etapas interdependientes:

- 1. Medir con Exactitud:** El punto de partida es la capacidad de realizar mediciones precisas, exactas y trazables. Esto requiere no solo instrumentos calibrados, sino también personal competente, métodos validados y un entorno controlado. Esta es la base de todo el ciclo.
- 2. Generar Datos Confiables:** Las mediciones exactas producen datos confiables. Estos datos son una representación fiel de la realidad de los procesos y productos. La confianza en los datos es lo que permite a los gerentes e ingenieros tomar decisiones informadas, en lugar de basarse en la intuición o en información anecdótica.
- 3. Impulsar la Mejora y la Innovación:** Con datos confiables, las organizaciones pueden identificar oportunidades de mejora en sus procesos existentes (innovación incremental) y validar el rendimiento de nuevas ideas radicales (innovación disruptiva). La innovación deja de ser un ejercicio de prueba y error a ciegas y se convierte en un proceso sistemático y basado en evidencia. Como argumentan Jiménez-Jiménez y Sanz-Valle, la capacidad de innovación es un

mediador clave entre la orientación estratégica y el desempeño de la empresa. La metrología potencia esta capacidad mediadora.

4. Lograr Crecimiento y Ventaja Competitiva (que justifica la Inversión en Metrología): La innovación exitosa y la mejora continua se traducen en productos de mayor calidad, procesos más eficientes, mayor satisfacción del cliente y, en última instancia, en un mejor desempeño de mercado y una mayor rentabilidad. Este éxito genera los recursos y, lo que es más importante, la justificación estratégica para reinvertir en capacidades metrológicas (mejores instrumentos, más formación, investigación en nuevas técnicas de medición), cerrando así el ciclo y elevando a la organización a un nivel superior de competitividad.

Este ciclo virtuoso transforma la metrología de un gasto necesario en una inversión estratégica con un retorno medible. La clave es el paso de la incertidumbre a la confianza. Como se visualiza en la Figura 7, las mediciones son el puente que permite a una organización pasar de un estado de incertidumbre (con decisiones arriesgadas e innovación estancada) a un estado de confianza (con decisiones basadas en datos e innovación reproducible), lo que finalmente conduce a una mayor credibilidad y éxito en el mercado.



Figura 7. Las Mediciones como Puente de la Incertidumbre a la Confianza.

Fuente: Elaboración propia.

4.5. Caso de Estudio Emergente: El Mercado de Carbono

Un ejemplo contemporáneo que ilustra perfectamente el rol estratégico de la metrología es el mercado de carbono. Este mercado se basa en la idea de que las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) pueden cuantificarse y comercializarse como "créditos de carbono". El valor financiero de estos créditos y el impacto climático real del mercado dependen enteramente de un principio: la confianza en que una tonelada de CO₂e (dióxido de carbono equivalente) reportada como reducida o eliminada ha sido, en efecto, reducida o eliminada.

La metrología es el pilar de esta confianza. Como se detalla en la Figura 8, la "medición precisa, trazable y confiable de GEI" es la base para la "confianza y verificación" que certifica las reducciones de emisiones. Sin esta base metrológica, el sistema colapsa:

- Sin Metrología: El mercado se enfrenta a un alto "riesgo de greenwashing, fraude y fracaso climático". Si las mediciones de las emisiones de referencia (línea de base) o las mediciones post-proyecto no son exactas, los créditos generados no representan una reducción real. Esto no solo constituye un fraude financiero, sino que socava el propósito mismo del mecanismo, que es mitigar el cambio climático.
- Con Metrología: Un sistema con una sólida infraestructura metrológica (que incluye sensores calibrados, modelos validados, laboratorios acreditados y auditores competentes) conduce a un "mercado transparente, créditos válidos e impacto real". La confianza en la medición es lo que da valor y legitimidad al crédito de carbono.

Este caso demuestra que la metrología no es solo una cuestión técnica de medir flujos de gases, sino un elemento de gobernanza económica y ambiental. La innovación en tecnologías de captura de carbono, en agricultura regenerativa o en eficiencia energética solo puede ser monetizada en estos mercados si el impacto climático puede ser medido y verificado de forma irrefutable, un rol que solo la metrología puede cumplir.



Figura 8. *El Rol Crítico de la Metrología en la Integridad del Mercado de Carbono.*

Fuente: Elaboración propia.

5. El Nuevo Rol del Metrólogo: De Técnico a Estratega

La transición de la metrología desde una función de soporte técnico a un pilar estratégico implica necesariamente una evolución en el rol del profesional de la metrología. El desafío para los metrologos y los líderes de las organizaciones es reconocer y cultivar este nuevo perfil: el metrologo como estratega.

Ser un estratega, y no solo un técnico, implica un cambio fundamental en la mentalidad, las habilidades y el posicionamiento dentro de la organización. Este nuevo rol se define por tres imperativos clave:

1. Comunicar el valor en términos de negocio: El metrologo estratega debe ser capaz de traducir los conceptos técnicos de la metrología (incertidumbre, trazabilidad, calibración) al lenguaje del negocio (riesgo, rentabilidad, competitividad, innovación). En lugar de decir "la incertidumbre de esta medición es de $\pm 0.1\%$ ", debe ser capaz de explicar: "esta incertidumbre de $\pm 0.1\%$ nos permite reducir el riesgo de producir lotes defectuosos en un 5%, ahorrando X cantidad de dinero al año y mejorando la confianza del cliente". Esta habilidad para conectar la precisión técnica con el impacto en el negocio es crucial para que

la alta dirección comprenda y valore la función metrológica como una inversión estratégica.

2. Participar en las mesas de decisión estratégica: Si la metrología es fundamental para la innovación y la estrategia, sus expertos deben estar presentes donde se toman las decisiones. El metrólogo estratega no puede permanecer aislado en el laboratorio. Debe participar activamente en los comités de desarrollo de nuevos productos, en las reuniones de planificación estratégica y en los equipos de gestión de riesgos. Su perspectiva es vital para evaluar la viabilidad técnica de un proyecto innovador, para anticipar las necesidades de medición que surgirán y para asegurar que los objetivos estratégicos se basen en datos realistas y alcanzables. Su rol es preguntar: "¿Cómo vamos a medir el éxito de esta innovación? ¿Tenemos la capacidad para hacerlo? ¿Cuál es el riesgo si no podemos medirlo con la confianza requerida?".

3. Integrar el pensamiento metrológico desde el diseño: El enfoque más efectivo es proactivo, no reactivo. El metrólogo estratega trabaja para "integrar el pensamiento metrológico desde el diseño de los productos y procesos". Esto significa considerar los requisitos de medición desde las primeras etapas conceptuales de un proyecto. Al hacerlo, se pueden evitar costosos rediseños y problemas de producción en etapas posteriores. Se asegura que el producto sea "diseñado para ser medible" y que los procesos sean "diseñados para ser controlables". Esta integración temprana es la máxima expresión de la metrología como disciplina estratégica y preventiva, en lugar de correctiva.

En resumen, la misión del metrólogo moderno trasciende la simple ejecución de mediciones. Su misión es crear la confianza que impulsa el progreso. Son los habilitadores del futuro, los guardianes del lenguaje común de la innovación y los arquitectos de la infraestructura crítica para la organización inteligente. Este cambio de rol requiere no solo habilidades técnicas profundas, sino también competencias en comunicación, visión de negocio y pensamiento estratégico.

6. Conclusiones

Este artículo ha argumentado que la metrología, la ciencia de la medición, debe ser reposicionada desde su rol tradicional como una función técnica de soporte a un pilar central de la estrategia empresarial en el siglo XXI. La premisa "Sin Metrología, la Innovación es Sólo una Idea" no es una hipérbole, sino una realidad fundamental en un mundo impulsado por los datos, la precisión y la tecnología. La capacidad de una organización para innovar de manera sostenible y competir eficazmente está intrínsecamente ligada a su capacidad para medir de manera confiable.

Referencias Bibliográficas

- Danijela Ciric, Jelena Borocki,, Danijela Gracanin, Bojan Lalic (2016). *Methodologies For Measuring Innovation Performances*. ResearchGate. https://www. Researchgate.net/publication/351811505_Methodologies_For_Measuring_Innovation_Performances
- BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, & OIML. (2021). Vocabulario internacional de metrología — Conceptos fundamentales y generales y términos asociados (VIM) (4.^a ed.). [Versión en español]. Bureau International des Poids et Mesures. https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_200_2012.pdf/0e79314d-4f3d-1f04-7a0c-0f492b6_e77e4
- Blind, K. (2025). The Economic Effects of the Quality Infrastructure. En *International Encyclopedia of Public Policy*. Springer. <https:// www. sciencedirect.com/science/article/pii/S0160791X25003045>
- Cárdenas-García, J. F., Hoyos-Guatame, F. E., & Puentes-Fierro, L. A. (2025). Metrología 4.0: las nuevas tendencias en la Metrología del siglo XXI. *Revista Científica*. https://www.researchgate.net/publication/387794627_Metrologia_40_las_nuevas_tendencias_en_la_Metrologia_del_siglo_XXI
- Centro Español de Metrología e Instituto de la Ingeniería de España (2019) *La Metrología también existe..* https://www.cem.es/sites/default/files/30363_lametrologiatambienexiste_web.pdf
- Del Campo, D., & Robles, J. A. (2012.). La Metrología, motor de innovación tecnológica y desarrollo industrial. *Revista Española de Metrología e-medida*,

Febrero 2012 [https://www.academia.edu/10209559/ La metrología motor de innovación tecnológica y desarrollo industrial Grupo 2.](https://www.academia.edu/10209559/La_metrología_motor_de_innovación_tecnológica_y_desarrollo_industrial_Grupo_2)

- Duarte, M. P., Diz, A. M., & Breda, Z. (2025). The Measurement of Innovation: A Systematic Review and Thematic Analysis. *Journal of the Knowledge Economy*. DOI:10.3390/jtaer18010001. <https://www.mdpi.com/2304-6775/13/3/31>.
- Bach et al. (2019). Relationship Between Innovation and Performance in private companies: A Systematic Literature Review. *SAGE Open*, 9(2). DOI: 10.1177/2158244019855847. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2158244019855847>
- Morales, P., van der Vlist, A. J., & van der Loos, M. J. (2024). When do trademarks improve the measurement of innovation? An analysis of innovations from Dutch SMEs. *Science and Public Policy*, 51(5), 923–937. DOI: 10.1093/scipol/scae021. <https://academic.oup.com/spp/article-abstract/51/5/923/7693543>.
- OCDE/Eurostat (2018), Manual de Oslo 2018: Directrices para la recopilación, el reporte y el uso de datos sobre innovación, 4.^a edición, La medición de las actividades científicas, tecnológicas y de innovación, Publicaciones de la OCDE, París/Eurostat, Luxemburgo. <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>
- Pendrill, L. R. (2014). Quality Assured Measurement: Unification across Social and Physical Sciences. Springer Series in Measurement Science and Technology. Springer. Springer Series in Measurement Science and Technology ISBN 978-3-030-28694-1 ISBN 978-3-030-28695-8 (eBook) <https://doi.org/10.1007/978-3-030-28695-8>
- Verus Metrology. (2024). *The Future of Metrology: Trends and Innovations for 2024*. Verus Metrology Partner. <https://www.verusmetrology.com/industry-news/metrology-trends/>
- Zhao, F., Zhang, Z., & Wang, Y. (2025). Revisión de técnicas de metrología óptica para aplicaciones de fabricación avanzada 16(11), 1224. DOI:10.3390/mi16111224. <https://www.mdpi.com/2072-666X/16/11/1224>