



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Contaduría y Administración
Maestría en Gestión de la Tecnología

**Plan tecnológico en Institutos Nacionales de Metrología de Latinoamérica,
Caso México.**

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Gestión de la Tecnología

Presenta:

Juan Gabriel Lugo Luévano

Dirigido por:

Dr. Luis Rodrigo Valencia Pérez

Co-dirigido por:

Dr. José Salvador Echeverría Villagómez

Nombre del Sinodal

Dr. Luis Rodrigo Valencia Pérez

Presidente

Dr. José Salvador Echeverría Villagómez

Secretario

Dr. Arturo Castañeda Olalde

Vocal

Dr. Juan José Méndez Palacios

Suplente 1

M. en A. Martha July Mora Haro

Suplente 2

Centro Universitario, Querétaro, Qro.

Fecha de aprobación por el Consejo Universitario 28 de
septiembre del 2023.

México



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Plan tecnológico en Institutos Nacionales de
Metrología de Latinoamérica, Caso México

por

Juan Gabriel LUGO LUÉVANO

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional](#).

Clave RI: CAMAN-151490

Resumen

El presente trabajo describe aspectos generales de la metrología, sus diferentes campos de aplicación y el rol de los institutos nacionales de metrología (INM) de la región de Latinoamérica. El enfoque del estudio se centra en el análisis de la gestión y planeación tecnológica en los INM, con el objetivo de identificar y proponer áreas de oportunidad y/o herramientas metodológicas que promuevan y faciliten el desarrollo tecnológico orientado a identificar y cubrir necesidades y retos en el ámbito industrial, que, a su vez, deriven en beneficios y prosperidad para la sociedad. Para ello, se investigaron diversas metodologías y herramientas de planeación tecnológica existentes, que se complementaron con las experiencias y conocimientos aplicados en México, particularmente en el ámbito de la metrología industrial. Como resultado se propone, como una estrategia, la implementación sistematizada de la planeación tecnológica en los INM, para el desarrollo tecnológico y de servicios especializados en la ciencia de las mediciones, a partir del conocimiento de las necesidades y de los retos de los usuarios en el contexto de cadenas de valor.

(Palabras clave: Metrología, planeación, tecnología, ciencia, cadena de valor, gestión)

Summary

This paper describes general aspects of metrology, its different fields of application and the role of the national metrology institutes (INM) in the Latin American region. The focus of the study is the analysis of technological management and planning in the INM, with the objective of identifying and proposing areas of opportunity and/or methodological tools that promote and facilitate technological development aimed at identifying and covering needs and challenges in the industrial field, which, in turn, derives in benefits and prosperity for society. For this, various existing technology planning methodologies and tools were investigated, which were complemented with the experiences and knowledge applied in Mexico, particularly in the field of industrial metrology. As a result, it is proposed, as a strategy, the systematized implementation of technological planning in the INM, for the technological development and specialized services in the science of measurements, based on the knowledge of the needs and challenges of users in the context of value chains.

(Key words: Metrology, planning, technology, science, value chain, management)

Agradecimientos

A mis padres, por su amor, su apoyo incondicional y su motivación permanente.

A mi esposa, por su gran ejemplo, su compañía y su apoyo en todo momento.

A Salvador Echeverría, por sus valiosas enseñanzas, por su confianza, por su amistad y, sobre todo, por su excepcional nobleza y generosidad.

ÍNDICE

	Página
Resumen	I
Summary	II
Agradecimientos	III
Índice	IV
Índice de tablas	V
Índice de figuras	VI
1. Introducción	1
2. Marco Teórico	3
3. Estado del arte	13
4. Aspectos Metodológicos	28
4.1. Hipótesis	28
4.2. Relevancia del tema	28
4.3. Pertinencia	28
4.4. Factibilidad	29
5. Marco conceptual	30
6. Objetivos	40
7. Justificación de la investigación	41
8. Caso de estudio	42
9. Desarrollo de la investigación	51
Conclusiones	84
Referencias	85

Índice de tablas

No.	Título	Página
Tabla 1	Teorías de la administración complementarias	9
Tabla 2	Cuadro comparativo de niveles de desarrollo de INM por campo metrológico y sistemas de gestión de tecnología	21
Tabla 3	Las siete unidades base del SI	33
Tabla 4	Financiamiento por funciones del INM	49
Tabla 5	Significado de las funciones de la Gestión de la Tecnología y sus procesos correspondientes	53
Tabla 6	Soporte del INM a las 3Ps de los ODS	59
Tabla 7	Rol de la metrología en el contexto de los ODS 2030	60
Tabla 8	Niveles de madurez tecnológica (TRL) conforme a la NASA	63
Tabla 9	Descripción de elementos que integran la CVM	71
Tabla 10	Descripción de la CVM	75
Tabla 11	Proyectos CENAM de aplicaciones aeronáuticas	83

Índice de figuras

No.	Título	Página
Figura 1	Pirámide de Maslow	15
Figura 2	Sistemas de medición vs. nivel tecnológico industrial	16
Figura 3	Organigrama NIST	19
Figura 4	Organigrama NMIJ	23
Figura 5	Organigrama KRISS	25
Figura 6	Estructura organizacional NIM China	26
Figura 7	Áreas o campos de la metrología	30
Figura 8	La metrología, de la ciencia a los usuarios	32
Figura 9	Las siete unidades del nuevo SI	32
Figura 10	Funciones de la IC	38
Figura 11	Interacción de los actores de la infraestructura de la calidad	39
Figura 12	Estructura internacional en el marco de la Convención del Metro	42
Figura 13	Mapa con Organizaciones Regionales de Metrología	44
Figura 14	Institutos Nacionales de Metrología miembros del SIM y regiones que lo integran.	45
Figura 15	Fuentes de financiamiento INM México	50
Figura 16	Mapa de conceptos	51
Figura 17	Funciones del Modelo Nacional de Gestión de Tecnología	53
Figura 18	Esquema metodológico de planeación tecnológica	55
Figura 19	Modelo propuesto de gestión tecnológica en un INM	57
Figura 20	Etapas del modelo de GT del Premio Nacional de Tecnología de México	57
Figura 21	Objetivos de desarrollo sostenible	58
Figura 22	Pronóstico de mercado Boeing 2037	61
Figura 23	Cadena de valor del sector aeronáutico	62
Figura 24	PIB industria manufacturera vs. aeroespacial en México	64
Figura 25	Distribución geográfica de la industria aeroespacial en México	65
Figura 26	Cadena de suministro local – Querétaro, México	66
Figura 27	Líneas de trabajo en el estado de Querétaro	67

Figura 28	Esquema guía para la realización de un Plan –T: Mapa de Ruta	68
Figura 29	Proceso T-Plan	70
Figura 30	Cadena de valor metrológica	71
Figura 31	Criterios para establecer líneas de trabajo	73
Figura 32	Cadena de valor metrológica en vibraciones y acústica, Dirección General de Metrología Física	74
Figura 33	Etapas de la metodología MESURA	78
Figura 34	Estructura orgánica MESURA y correspondencia con sectores de interés	79

1. Introducción.

A lo largo de la historia las necesidades del ser humano han ido evolucionado y diversificándose en un amplio espectro. Desde el descubrimiento del fuego hasta los procesos más sofisticados de manufactura que existen actualmente, han sido causalidades que han atendido diversas necesidades y deseos de la humanidad.

La ciencia, el desarrollo tecnológico y la innovación son elementos fundamentales para atender las necesidades y deseos de bienes y servicios útiles para la sociedad.

William Thomson, Lord Kelvin, físico matemático inglés del siglo XIX concluyó que *“Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide no se puede mejorar. Lo que no se mejora, se degrada siempre.”*

Las mediciones, su uso y desarrollo son parte de la evolución de la humanidad y, que, con la suma y acumulación de experiencias y conocimientos, han sido un elemento fundamental en el desarrollo científico y tecnológico.

Si bien el uso y aplicación de las mediciones está en casi todas las actividades cotidianas del ser humano, de manera consciente o subconsciente, el presente trabajo se centra en la forma en que los gobiernos se apoyan de esta, para garantizar la equidad, certeza, seguridad y confiabilidad en los bienes de consumo y su intercambio comercial. En la actualidad existen los Institutos Nacionales de Metrología (INMs), que tienen el objetivo fundamental de reproducir, diseminar y difundir las unidades del Sistema Internacional para dar certeza técnica-científica a actividades normativas, industriales, comerciales, de seguridad, medio ambiente y salud, que a su vez atienden diversas necesidades propias de cada país.

El desarrollo económico, productivo y social de los países y las regiones se apoya de la infraestructura de la calidad (IC) que éstos desarrollan y que será definida en este trabajo. Los Institutos Nacionales de Metrología (INM), son un pilar indispensable en la IC que ofrecen las referencias (p. e. patrones y sistemas de medición de referencia) para dar certeza en las mediciones que se realizan en los países. En México el INM es el Centro Nacional de Metrología (CENAM).

Si bien no es el fin ni la naturaleza de un INM ser autosostenible, se vuelve relevante diversificar sus medios y fuentes de financiamiento que contribuyan a fortalecer,

diversificar, posicionar y/o consolidar las actividades que éste ofrece, particularmente en el ámbito de la metrología industrial con los sectores productivos.

El tema de esta tesis se centra en el aprovechamiento de la gestión de la tecnología, con el empleo de diversas herramientas, aterrizada en un plan tecnológico con actividades, funciones y responsabilidades sistemáticas de un Instituto Nacional de Metrología, con el objeto de crear ventajas comparativas, mediante el uso eficiente de sus recursos e infraestructura que lo componen.

2. Marco Teórico

2.1 Teorías de la administración

La administración integra de manera sistemática y ordenada el conjunto de actividades y procesos de diversos acontecimientos sociales, culturales y económicos en la historia y actualmente es aplicable en distintos campos de la ciencia, la tecnología y la innovación.

En la transición del siglo XIX al siglo XX, el estudio del pensamiento administrativo comenzó a formalizarse con la investigación de diferentes autores, quienes, mediante sus teorías y postulados, iniciaron lo que actualmente es el pensamiento administrativo.

Actualmente la administración tiene un papel fundamental en el desarrollo de cualquier actividad humana y en las organizaciones, y constituye un elemento vital en el desempeño de estas.

2.1.1 *Teoría de la administración científica*

Frederick Winslow Taylor (1856 – 1915) se considera uno de los primeros pensadores de la administración o gestión empresarial, mediante sus postulados desarrollados durante la revolución industrial a finales del siglo XIX.

El acelerado y desorganizado crecimiento de las organizaciones, junto con la necesidad de incrementar la competencia y eficiencia de éstas, motivaron a Taylor (1911) a desarrollar su teoría, basada en un enfoque científico de la administración, que como su nombre lo indica, se fundamenta en el método científico que considera la observación, la investigación, la hipótesis, la experimentación, el análisis de datos y las conclusiones.

Taylor propone en su teoría que la diversidad de funciones y actividades que se realizan en las organizaciones deben desempeñarse racionalmente con el uso de métodos científicos. La racionalización de estas actividades y funciones resulta del estudio previo de las operaciones industriales, con el objetivo de establecer sus patrones y resultados y acotar los métodos más eficientes. El análisis de las diversas actividades industriales lleva a conclusiones que permiten mejorar la eficiencia de los trabajadores y en consecuencia de la organización.

Taylor, con base en su experiencia laboral y en sus investigaciones identificó que existía una gran diferencia entre el trabajo que realizaba un obrero común y el que podía realizar

un obrero capacitado con adecuada dirección. Algunas de las conclusiones a las que llegó Taylor fueron que esa diferencia era en proporción de uno a cuatro, es decir, mientras el obrero calificado podía producir cuatro unidades, el obrero no calificado solo producía una. De igual manera comprobó que la capacitación y formación del personal, más los incentivos, incrementaba la productividad de los trabajadores.

En adición a lo antes descrito, resalta la importancia de la coordinación y armonía de las diferentes áreas de las organizaciones para evitar un funcionamiento desarticulado entre estas, evitando la disminución de pérdidas y la ineficiencia laboral. Asimismo, identificó como elementos clave el cambio de mentalidad y la modificación de las actitudes imperantes de los patrones y los obreros, que redunde en un beneficio común.

2.1.2 Postulados de la administración científica

Los postulados de Taylor se resumen en las siguientes oraciones:

- 2.1.2.1 La industria debe ser organizada científicamente; para ello debe aplicar el método científico en sus procesos. La ciencia y no la regla empírica debe regir el funcionamiento de las organizaciones.
- 2.1.2.2 Con base en los elementos que integran la organización, sus métodos y los tiempos necesarios, se cuenta con los elementos necesarios para realizar un plan de dirección y racionalización del trabajo, que derive en el aumento de la productividad de los obreros, monitoreando de manera permanente sus labores y reconociendo sus logros, para estimularlos.

- 2.1.2.3 Incremento de salarios de los trabajadores, basado en el desempeño de la organización; considera la distribución de los costos de producción de manera racional y el aumento de la productividad.
- 2.1.2.4 Uso eficiente de recursos humanos y materiales de la organización. ‘Los capataces deben supervisar al menor número posible de operarios y la maquinaria bajo su responsabilidad debe agruparse en un solo taller’.
- 2.1.2.5 Relaciones humanas basadas en estructuras definidas y operadas con el método científico. ‘La responsabilidad de las labores debe distribuirse entre la dirección y entre los obreros. Para esto, el obrero requiere capacitación previa y debe imperar un ambiente cordial y un reconocimiento de la condición del individuo’.
- 2.1.2.6 La equidad entre salarios versus actividades. ‘Los salarios deben tener como base la cantidad y calidad de las labores realizadas. Estas deben ser medibles, para que se pueda pagar a cada obrero u operario según su contribución diaria a la producción total’.

2.1.2 Teoría de la administración clásica

La teoría clásica de la administración surge en Europa a principios del siglo XIX, y se caracteriza por centrarse en la estructura de las organizaciones para el logro de sus objetivos de manera eficiente.

Se le considera el padre de esta teoría a Henry Fayol (1841-1925), ingeniero francés que basó su teoría en las consecuencias de la revolución industrial y en la primera guerra mundial.

La teoría de Fayol parte de que toda organización o empresa puede estar dividida en diferentes funciones que, integradas, conforman la operación de esta.

Las funciones a las que se refiere Fayol son:

- Funciones técnicas: son las relacionadas con el quehacer de la organización, es decir, la producción de bienes y servicios.
- Funciones comerciales: tienen que ver con las actividades de compra y venta de sus productos y servicios.

- Funciones financieras: se relacionan con las actividades de gestión y gerencia de capitales.
- Funciones de seguridad: todas las relacionadas con la protección y seguridad de las personas y los bienes.
- Funciones contables: son las relacionadas con el control y registro de inventarios, balances contables (ingresos – egresos), costos y estadísticas.
- Funciones administrativas: integran y coordinan las funciones previas por parte de la dirección de la organización. Estas funciones son el paraguas del resto.

H. Fayol determina que las funciones descritas previamente constituyen el proceso administrativo y son fundamentales para todo administrador de empresas. Esto no quiere decir que el administrador general concentra todas las funciones, sino dirige y orienta las actividades hacia el cumplimiento de objetivos de la organización.

De las funciones administrativas propuestas por Fayol, derivó el proceso administrativo, que se integra de las siguientes fases:

- Planificación: Consiste en establecer las metas y objetivos de la organización. Responde a las preguntas ¿Qué se va a hacer? Y ¿Con qué?
- Organización: Se refiere a la organización estructurada y sistematizada del trabajo para alcanzar los objetivos. Responde a las preguntas ¿Cómo se va a hacer?
- Dirección: Orienta las funciones del personal hacia el cumplimiento de los objetivos mediante la comunicación, la motivación y el liderazgo. Responde a la pregunta ¿Cómo se está haciendo?
- Control: Compara y comprueba los resultados con las actividades planeadas, con el fin de corregir desviaciones y garantizar lo inicialmente planeado. Responde a la pregunta ¿cómo se ha realizado?

Principios de la administración clásica. De acuerdo con la teoría propuesta por Fayol, se proponen principios generales que son la base para orientar las actividades de los administradores y su desarrollo. Estos principios no son de aplicación genérica y son flexibles y adaptables a cada necesidad. El reto es identificar bajo qué circunstancias aplicarlos.

Dentro del esquema básico de Fayol, a continuación, se describen algunos principios:

Autoridad y responsabilidad: Son funciones que siempre van ligadas. No puede haber autoridad sin responsabilidad. Actualmente la Real Academia Española (RAE) define a la autoridad como el ‘prestigio y crédito que reconoce a una persona o institución por su legitimidad o por su calidad y competencia en alguna materia’. Fayol distingue una autoridad oficial, la designada institucionalmente, y una autoridad personal que se compone de competencias y conocimientos de la persona. La conjunción de ambas es ideal para un desempeño eficiente de la administración.

División del trabajo: el fin de este principio se refiere a producir más y a realizar un mejor trabajo con un mínimo esfuerzo. Según Fayol, la habilidad y conocimientos específicos que adquieren los trabajadores y los administradores en tareas rutinarias aumentan la producción.

Disciplina: La obediencia y buena conducta son elementos clave para el trabajo en armonía en una organización. Las buenas relaciones de superiores con sus empleados son esenciales para un trabajo productivo y eficiente.

Unidad de mando: Los empleados deben recibir instrucciones de una sola autoridad o jefe. La existencia de diferentes autoridades provoca confusión y conflictos, lo que a su vez resulta en falta de orden y de disciplina y se pone en riesgo la estabilidad de la organización.

Remuneración: Debe existir una recompensa monetaria justa que proporcione la máxima satisfacción a quienes integran la organización o empresa.

Iniciativa: Fayol creía que la responsabilidad final de la empresa recaía en los gerentes, sin embargo, éstos también necesitan delegar cierta autoridad y libertad a sus subalternos para el mejor desempeño de sus funciones.

Espíritu de equipo: Para Fayol promover el espíritu de equipo da a la organización un mayor sentido de unidad. Un factor esencial para ello es el uso de la comunicación oral en complemento a la formal escrita (Chiavenato, 2004).

2.1.3 Teoría humanística

La teoría humanística o también conocida como de las relaciones humanas se considera, hasta cierto punto, una contraposición a las teorías previamente descritas. La evolución económica, social, política y tecnológica, entre otras, crea el interés por enmendar la tendencia a la deshumanización del trabajo, originada, esencialmente, por la aplicación de métodos estrictos y rigurosos de administración en las organizaciones.

La teoría humanística se consideró un parteaguas en el pensamiento administrativo, el cual se sustentaba en las teorías científica y clásica. Ahora, el punto de interés se centraba en las personas que trabajaban en las organizaciones.

El origen de este enfoque surge en Estados Unidos debido al desarrollo de las ciencias sociales y de la psicología industrial iniciada por Hugo Münsterberg (1816 – 1916), y aplicada a inicios del siglo XX. Entre sus principales aportes a la administración están el establecimiento de condiciones psicológicas adecuadas para mejorar el rendimiento de las organizaciones. A sus aportes se suman los desarrollados por otros destacados psicólogos de ese entonces como G. Elton Mayo (1880 – 1949), quién, mediante experimentos realizados en la empresa Western Electric Company (planta Hawthorne, Chicago - 1927) demostró que condiciones del entorno laboral como la luz, el ruido, el calor influyen de manera significativa en el rendimiento, eficiencia y productividad de los trabajadores.

Además de ejercicios como el descrito anteriormente, la teoría humanista se basó en la necesidad de democratizar y humanizar la administración de las organizaciones y en consecuencia el desarrollo de las ciencias humanas.

2.1.4 Otras teorías complementarias

En complemento a las teorías previamente descritas, hubo otros autores que contribuyeron al origen y fundamentos de lo que hoy se conoce en la administración y la economía que se describen brevemente en la siguiente tabla:

Tabla 1.

Teorías de la administración complementarias

<p>Adam Smith (1723 – 1790)</p>	<p>En su libro “La Riqueza de las Naciones” (1776), establece que la fuente de la riqueza se encuentra en el trabajo, la división social de este (DST) y la proporción entre trabajadores productivos e improductivos. Asimismo, compara los costos de construir una máquina y el uso que se le da, con los costos de formar a un obrero o profesionalista. Los cuales se traducen en capital físico y capital humano, respectivamente.</p>
<p>David Ricardo (1772 – 1823)</p>	<p>Economista inglés se considera uno de los padres de la economía moderna. Entre sus aportaciones, complementarias a la teoría de A. Smith, destaca que la generación de valor depende de la fuerza laboral necesaria para generarla y de su disponibilidad. Es decir, cuanto más complejo sea producir un bien, mayor será su valor.</p>
<p>Robert Malthus (1766 – 1834)</p>	<p>Se le cataloga como un economista político con interés por la demografía o población. Su teoría considera que el crecimiento poblacional lleva a un deterioro de los niveles de vida, al que le llamó ‘punto de crisis’. En su ‘Ensayo sobre el principio de la población’ (1798), plantea que la tendencia de crecimiento de la población es mayor al crecimiento de los bienes para subsistir, lo cual generaría un colapso.</p>
<p>Karl Marx (1818 – 1883)</p>	<p>Filósofo alemán, padre del socialismo científico. Su teoría continua la línea de la teoría del valor en la economía clásica, sin embargo, se enfoca en que ‘la sociedad capitalista tiene como objetivo principal obtener ganancia permanentemente y de manera creciente’.</p>

Fuente: Elaboración propia, 2019

Las teorías e ideas económicas previamente descritas fueron formuladas en la primera revolución industrial (1760 – 1830), caracterizada, entre otros acontecimientos, por el crecimiento de la industria textil en Gran Bretaña, las minas de carbón, la propulsión de vapor y la insipiente mecanización de los procesos de hilados y tejidos. Ninguna de estas consideró, hasta ese momento, el cambio científico – tecnológico, y lo que este podría contribuir al desarrollo y crecimiento económico (Corona, 2002).

A partir de la segunda revolución industrial (1850 – 1914) surgieron otras teorías como las que se describen a continuación y que también dan soporte al desarrollo de la tesis.

Joseph Schumpeter (1883 - 1950), promotor de la innovación como un factor transversal en el desarrollo y progreso de las naciones, quién, mediante su enfoque en el progreso tecnológico y la innovación, sustentó su estudio en el desarrollo, en una menor acumulación de capital y en la competitividad, lo cual viene a enriquecer las teorías y conocimientos de administración o gestión puestos en práctica hasta ese momento e incluso hasta nuestros días. Schumpeter resalta la importancia de la innovación de productos y procesos en la competencia económica y no los precios.

En América Latina la evolución de la administración o gestión parte de la aplicación de las teorías económicas previamente mencionadas, sin embargo, algunos autores resaltan la apropiación y puesta en práctica de éstas de acuerdo con la cultura e idiosincrasia de cada país. En este sentido, las teorías de la administración han desempeñado un papel significativo en la construcción de esquemas y modelos de gestión y operación diversos y acordes a las exigencias del mercado y de la sociedad.

Diversos estudiosos de la administración en la era moderna (Nonaka, Takeuchi, 1997; Davenport, Prusak, 1998; Stewart, 1998; Sveiby, 1998; Teixeira Filho, 2000; Figueiredo, 2005), coinciden en que las organizaciones productivas basan su gestión en las capacidades intelectuales y holísticas que las integran. La generación de ideas, a diferencia de la generación de activos tangibles, es un factor clave que detona la capacidad de gestión del potencial humano que se transforma en habilidades ejecutivas esenciales. La gestión bien orientada de personas, su aprendizaje y la gestión del conocimiento dan soporte a las actividades relacionadas con la ciencia, la innovación, la tecnología y la producción, entre otras.

En todo proceso administrativo descrito hasta el momento, la planeación es el primer paso, a principios del siglo XX, Walter Andrew Shewhart (1891-1967) Edward Deming (1900 - 1993) introdujeron el ciclo PHVA - PDCA: Planear, hacer, verificar y actuar o *plan, do, check y act*, cuya aplicación se centra, incluso actualmente, en procesos de calidad y mejora continua en las organizaciones.

Vera – Cruz (2004) refiere a Katz (1986), quien analiza la idiosincrasia de las empresas para explicar los elementos y características de los procesos de formación de capacidades tecnológicas en empresas de América Latina, principalmente metalmecánicas. “Por idiosincrasia se entiende un conjunto de factores como el tipo de empresa según el origen de su capital, su estructura organizacional y su manera específica de operar”, entre otros.

Tremblay (1994) estudió las características clave en los ámbitos gerencial y organizacional de empresas en países desarrollados y en vías de desarrollo. El resultado de su análisis de dichas características con las tasas de productividad y otros elementos como el estilo gerencial, la actitud administrativa, el liderazgo, el control, etc. integran en su conjunto la cultura de la empresa. Dutrenit (2000) y otros autores con perspectivas diferentes deducen que la principal barrera o limitante para cambiar las formas de hacer las cosas y las rutinas se asocian con la rigidez cultural de las organizaciones – empresas.

En la actualidad, gran parte de los países reconocen la necesidad de contar con estructuras, instrumentos y políticas que tengan por objeto fomentar, desarrollar y consolidar las actividades y desarrollos científicos y tecnológicos, orientados hacia la innovación que a su vez genere prosperidad y bienestar para sus pueblos.

3 Estado del arte

Desde el comienzo de la civilización, medir, de manera consciente o inconsciente, ha sido una actividad inherente a la evolución humana. El ser humano, por naturaleza, cuenta, en su mayoría, con la capacidad de ver, oír, tocar, oler y probar, algunos sentidos más desarrollados que otros, sin embargo, éstos son nuestros medios de percibir nuestro entorno y en nuestros naturales sensores de medición que permiten conocer y tomar decisiones. De manera inconsciente, nuestro cuerpo regula muchas otras funciones internas que se desconocen cómo se procesan, pero mantienen la supervivencia, por ejemplo: nuestro sistema digestivo conoce que cantidad de agua se debe tomar para neutralizar la sal de los alimentos o que cantidad de estos dos elementos debe ser absorbida por la sangre diariamente para mantener buena salud, procesos que de manera consciente no se controlan ni se miden.

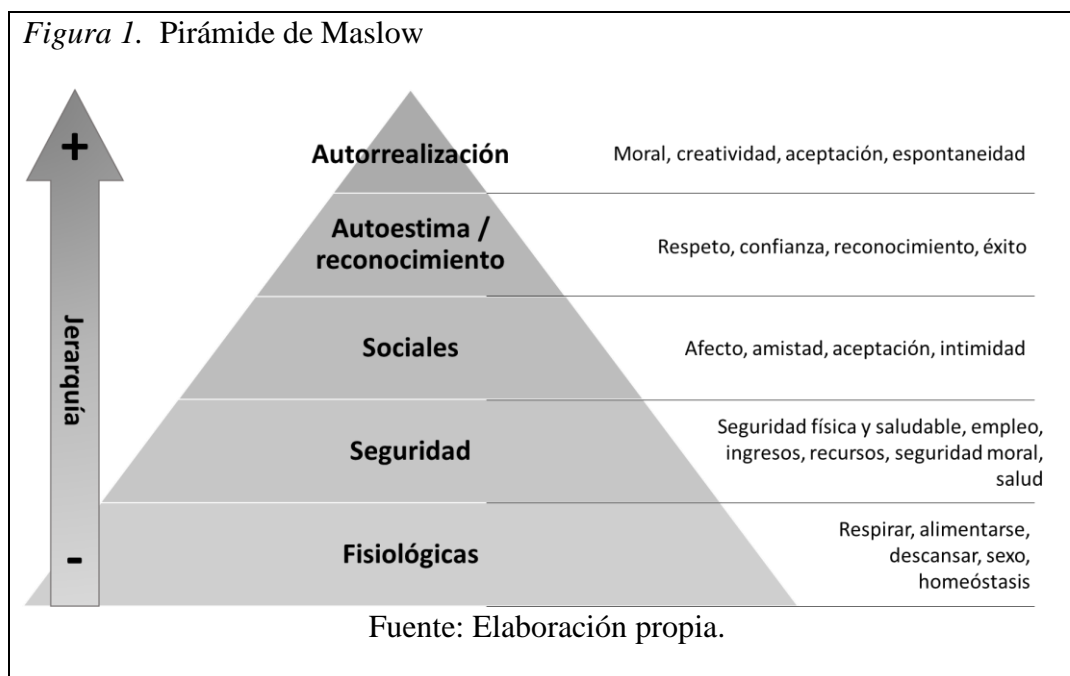
Desde las actividades primitivas hasta las actuales las mediciones han estado presentes y han ido evolucionado conforme a las diversas necesidades de la humanidad. El descubrimiento del fuego cambió la forma de procesar los alimentos, el descubrimiento de la rueda vino a facilitar la movilidad terrestre. En relación con estos dos ejemplos básicos, se puede pensar que nuestros ancestros recurrieron a realizar algún tipo de medición o conteo, consciente o inconsciente, que les ayudara a conocer gradualmente su óptima utilización.

Al paso de la historia se tienen registros que los primeros en emplear medidas antropomórficas fueron los egipcios, que en el año 3000 a.C. definieron como unidad de medida, entre otras, el codo real, que consistía en una unidad de longitud equivalente a 52 cm aproximadamente. Así como está referencia, los egipcios basaron otras unidades de medida en diversas partes del cuerpo como el dedo, el palmo, el puño, entre otras que empleaban delimitar territorios, intercambio comercial, etc.

Los antiguos mexicanos, según describe Rojas Rabiela (2011), medían y contaban como actividades distintas, y se aplicaban en desarrollos técnicos, arquitectónicos e ingenieriles como: basamentos de templos, juegos de pelota, acueductos, diques, canales, presas, etc. En el campo de la astronomía, se tenía cuenta y registro del tiempo, mediante la contabilidad de los días, semanas, meses o años, que relacionaban con los fenómenos

solares astronómicos.

En el ámbito psicosocial, si se toman como referencia contemporánea la jerarquía de necesidades humanas que describe Abraham Maslow (1943) en su teoría sobre la motivación humana, se puede relacionar que las mediciones giran alrededor de las necesidades que éste clasifica como fisiológicas, de seguridad, de afiliación o sociales, de reconocimiento y de autorrealización, las cuales agrupa en una pirámide, dónde la base la conforman las necesidades más básicas y en la cima las necesidades más complejas, como se muestra en la siguiente figura:



Las necesidades humanas y el entorno en el que se vive han sido el eje motivante para el desarrollo y la evolución de las medidas y de las mediciones. Conforme se van satisfaciendo dichas necesidades básicas, se van desarrollando necesidades más complejas que exigen medios más sofisticados o complejos para cubrirlas.

En los campos de la ciencia y de la tecnología, los conflictos mundiales del siglo XX motivaron la creación de mandatos y políticas que fomentaban su desarrollo y aplicación para fines bélicos, sin embargo, gradualmente fueron aplicados para fines pacíficos, prosperidad y competitividad de los países.

Martínez Patiño (2003) refiere que, a partir de la década de los sesenta, se intensificó la realización de estudios y políticas sobre el desarrollo científico y tecnológico con aplicación a los grandes problemas de los países subdesarrollados. Los primeros estudios se centraron más en la ciencia que en la tecnología, ya que el enfoque se orientaba más a la promoción de la investigación y el desarrollo científico experimental, con el fin de introducir una perspectiva científica en todos los ámbitos de las políticas gubernamentales. Una vez que los intereses gubernamentales fueron dirigidos al crecimiento económico como principal objetivo nacional, el interés por la tecnología cobró mayor atención. En la siguiente figura se representa la evolución (izquierda a

derecha), de manera comparativa, de la metrología o mediciones con los procesos industriales y el tipo de empresas.



A nivel mundial la Organización de las Naciones Unidas (ONU), y la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), en el año de 1963, formulan postulados y políticas gubernamentales en ciencia y tecnología para apoyar el establecimiento de instituciones científicas y tecnológicas, y de promover la educación en ciencia y tecnología en países subdesarrollados.

Con la creación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) en México en el año de 1971, se formalizaron e instrumentaron las primeras acciones encaminadas a promover, difundir y fortalecer el desarrollo científico y tecnológico de manera sistemática. En 1986 con el ingreso de México al GATT y el inicio de las negociaciones del Tratado de Libre Comercio (TLC) con Estados Unidos y Canadá, surgieron diversos cambios legislativos que afectaron en forma notable lo relacionado con la ciencia y la tecnología, particularmente en el ámbito de la propiedad intelectual.

Con la inserción de México en mercados internacionales, la ciencia y la tecnología se volvieron parte fundamental en el desarrollo y la competitividad, sin embargo, no ha sido, a diferencia de los países desarrollados, el detonante para la prosperidad y generación de riqueza.

3.1 La gestión de la tecnología en los principales INMs del mundo

Con el objeto de tener una visión general de las estructuras organizacionales y el rol de la gestión de la tecnología en los principales Institutos Nacionales de Metrología del mundo y de América, a continuación, se describen de manera general cada una de estas.

3.1.1. Alemania – PTB

El Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) es una autoridad federal superior científica y técnica del área comercial del Ministerio Federal de Asuntos Económicos y Energía. Inicia operaciones con este nombre en 1950, ya que anteriormente, a partir de 1887, operaba como Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR) por iniciativa de Werner von Siemens y Hermann von Helmholtz. Actualmente es el INM de Alemania y se integra de nueve departamentos científicos y técnicos. Los departamentos se dividen en unos 60 departamentos y unos 200 grupos de trabajo (1900 empleados). La gestión del PTB es realizada por una junta directiva, la cual funge como consejo asesor científico que representa los intereses de los clientes de la ciencia, la industria y la sociedad. Asimismo, cuenta con una junta de síndicos cuya función es dar asistencia técnica especialmente en decisiones estratégicas importantes. [fuente: página web: <https://www.ptb.de/cms/de/ueber-uns-karriere.html>]

Su origen industrial, consolida una relación estrecha y de soporte a diversos sectores industriales, lo cual se traduce en servicios de gestión tecnológica y de innovación que promueven el desarrollo y la transferencia de tecnología.

3.1.2 Reino Unido – National Physical Laboratory

El National Physical Laboratory (NPL), es una corporación pública dependiente del Departamento de Negocios, Energía y Estrategia Industrial. Se fundó en 1900 con la encomienda de “estandarizar y verificar instrumentos, para probar materiales y para

determinar constantes físicas. Se considera uno de los laboratorios más antiguos del mundo.

Actualmente el ‘equipo ejecutivo’ se integra de la siguiente manera:

- Chief Executive Officer - CEO
- Deputy CEO
- Science and engineering Director
- HR and change Director
- Chief Scientist
- Chief financial Officer
- Commercial Director
- Strategy Director

El Consejo Asesor de Ciencia y Tecnología (STAC) proporciona asesoramiento estratégico independiente y apoyo al NPL. A su vez realiza revisiones independientes para evaluar la calidad del trabajo de NPL en comparación con otros puntos de referencia internacionales.

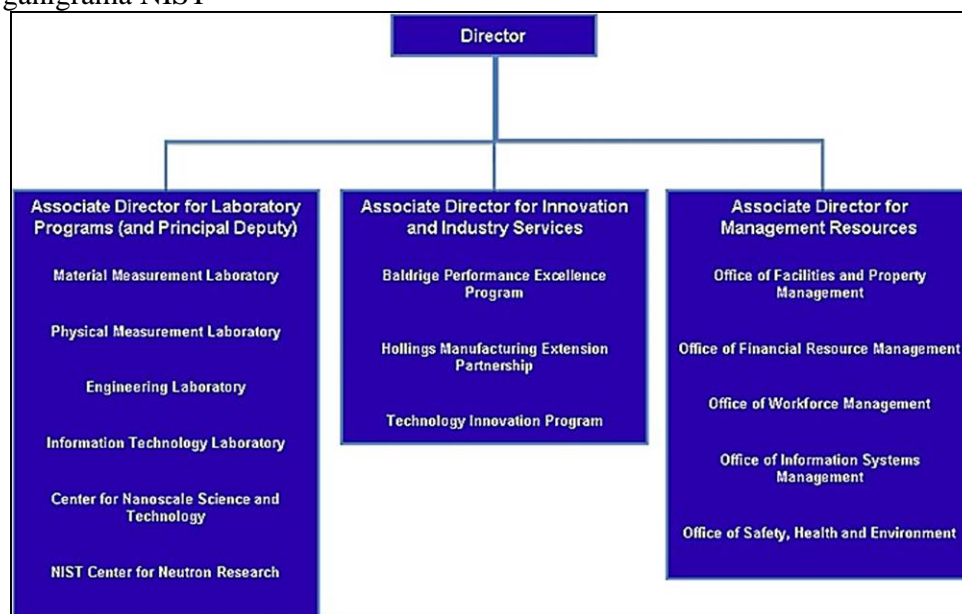
Las actividades de gestión tecnológica y comercial recaen en la dirección comercial, la cual se integra de un equipo de expertos dedicados a traducir el conocimiento técnico en ventajas comerciales.

3.1.3 Estados Unidos – National Institute of Standards and Technology (NIST)

El NIST se fundó en 1901 y también es considerado uno de los laboratorios más antiguos de ciencias físicas de los Estados Unidos. En aquel entonces se encontraba atrás de países como el Reino Unido y Alemania, y uno de sus retos era disminuir la brecha hacia la competitividad industrial de los Estados Unidos.

Actualmente el NIST tiene la siguiente estructura organizacional:

Figura 3. Organigrama NIST



Fuente: <https://www.nist.gov/director/nist-realignment-fact-sheet> (2021 s. p.)

La Dirección “Innovation and Industry Services”, mediante la oficina de “Technology Innovation Program/ Technology Partnerships Office”, es la encargada de realizar actividades de gestión tecnológica, tales como vinculación y colaboración en investigación, transferencia de conocimiento y de tecnología, propiedad intelectual, desarrollo de nuevos negocios y análisis de impacto económico e informes de las actividades de transferencia de tecnología, entre otras.

Se destaca que, al momento de realizar el presente trabajo, el director de este INM también funge como Subsecretario de Comercio de Normas y Tecnología

3.1.4 Brasil – INMETRO

El Instituto Nacional de Metrología, Calidad y Tecnología de Brasil (INMETRO) fue creado a finales de 1973, trabaja como una autarquía federal en formato de agencia ejecutiva vinculada al Ministerio de Desarrollo, Industria y comercio Exterior.

El INMETRO cuenta con un área de Innovación Tecnológica que ofrece servicios de incubación de proyectos, apoyo a la innovación y oferta tecnológica que da soporte a la infraestructura de la calidad y a sectores productivos del país.

3.1.5 Argentina – INTI

El Instituto Nacional de Tecnología Industrial, INTI, es el Instituto Nacional de Metrología de Argentina. Fue creado en el mes de diciembre de 1957 como un organismo descentralizado del Ministerio de Producción y Trabajo, con el objetivo de apoyar el desarrollo industrial, mediante la transferencia de tecnología, el fortalecimiento de las capacidades de medición y el impulso a la innovación en todas las áreas productivas del país.

Se resalta que desde su creación integró a cámaras e industrias en el esquema de conducción de sus centros para asegurar que las actividades que se desarrollaran estuvieran conectadas a las necesidades y demandas en el ámbito industrial [fuente: página web INTI].

Organizacionalmente se integra de la siguiente manera:

- Presidencia
- Dirección administrativa
- Dirección operativa
- Dirección de planeamiento y comercialización
- Unidad de Control de Gestión
- [Gerencia operativa de desarrollo tecnológico e innovación](#)
- Gerencia operativa de relaciones institucionales y comunicación
- Gerencia operativa de metrología y calidad
- Gerencia operativa de servicios industriales
- Gerencia operativa de asistencia regional
- Gerencia operativa de administración y finanzas
- Gerencia operativa de asuntos legales
- Gerencia operativa de recursos humanos

La gestión de la tecnología es considerada como un área estratégica llamada “Desarrollo tecnológico e innovación”, que promueve y oferta sus capacidades tecnológicas en acompañamiento de la evolución industrial. Entre su oferta de servicios en este rubro,

considera tecnologías de gestión, la transferencia de tecnología y vigilancia tecnológica para diferentes sectores industriales.

El INTI, además de ser el INM de Argentina, es un centro multidisciplinario que ofrece asistencia integral a la industria en distintas áreas del conocimiento. En el campo de la metrología realiza actividades de metrología científica, industrial y legal, siendo esta última un área y fuente de ingresos preponderante en este campo.

En resumen, a continuación, se muestra un cuadro comparativo de los niveles de desarrollo o intensidad que los INM de América Latina y el Caribe tienen en cuanto a los distintos campos de aplicación de la metrología e implementación de procesos sistematizados de gestión de la tecnología:

Tabla 2.

Cuadro comparativo de niveles de integración de INM por campo metrológico y sistemas de gestión de tecnología

Ejes de trabajo	NRC (Canadá)	NIST (EUA)	CENAM (MEXICO)	INMETRO (Brasil)	INTI (Argentina)	INM (Colombia)	INACAL (Perú)	LACOMET (Costa Rica)	CENAMEP (Panamá)	CARICOM (Caribe)
1. Metrología Científica	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2
2. Metrología Legal	NA	NA	1	3	3	2	2	2	2	2
3. Metrología Industrial	NA	3	3	3	3	2	2	2	2	1
4. Proceso sistematizado de GT	3	3	1	3	3	1	0	0	0	0

Niveles de integración/intensidad	
Alto (81% - 100%)	3
Medio (60% a 80%)	2
Bajo (1% - 50%)	1
Nulo (0%)	0
No aplica	NA

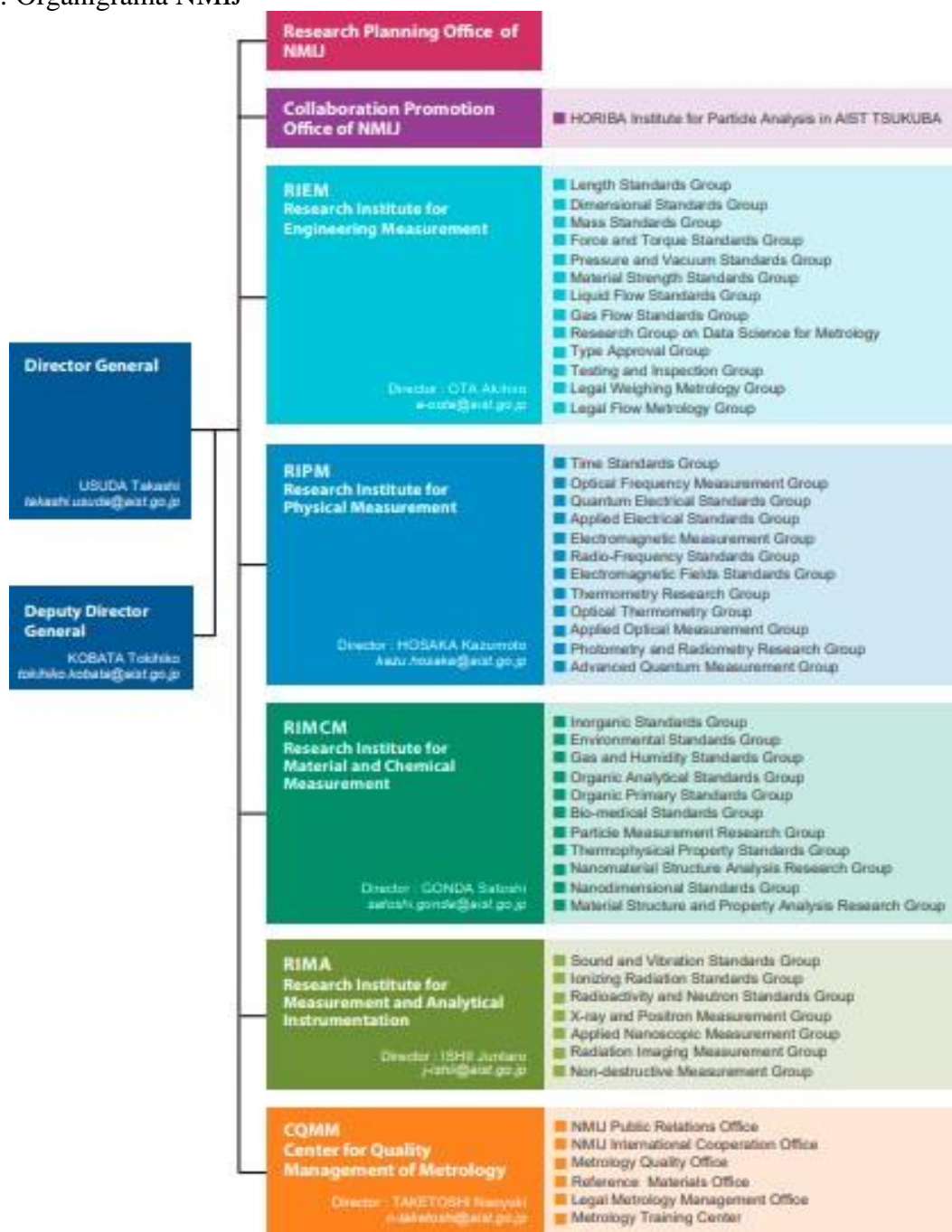
Fuente; Elaboración propia. 2019

De manera complementaria y con el fin de tener referencias internacionales de INMs de Asia, a continuación, se describen de manera general los siguientes:

Japón - Instituto Nacional de Metrología de Japón (NMIJ)

El NMIJ está compuesto por cuatro Institutos de Investigación (Medición de Ingeniería, Medición Física, Medición de Materiales y Química, y Medición e Instrumentación Analítica), Centro de Gestión de Calidad de Metrología, Oficina de Planificación de Investigación de NMIJ y Oficina de Promoción de Colaboración de NMIJ. Los objetivos del NMIJ son desarrollar, mantener y difundir estándares de medición, y realizar investigación y desarrollo de tecnologías de medición, áreas que se espera que logren un progreso notable como infraestructura para la ciencia y la tecnología industriales. Los cuatro Institutos de Investigación desarrollan y suministran estándares de medición, mientras que el Centro para la Gestión de la Calidad de la Medición se encarga de las tareas administrativas. La Oficina de Planificación de Investigación de NMIJ y la Oficina de Promoción de Colaboración de NMIJ son responsables de la planificación y la colaboración. Su estructura organizacional se muestra a continuación:

Figura 4. Organigrama NMIJ



Fuente: https://unit.aist.go.jp/nmij/english/info/pdf/NMIJ_Factsheet.pdf

Corea del Sur - KRISS

Como instituto nacional de metrología de Corea desempeña un papel central en la infraestructura nacional de calidad con las siguientes responsabilidades:

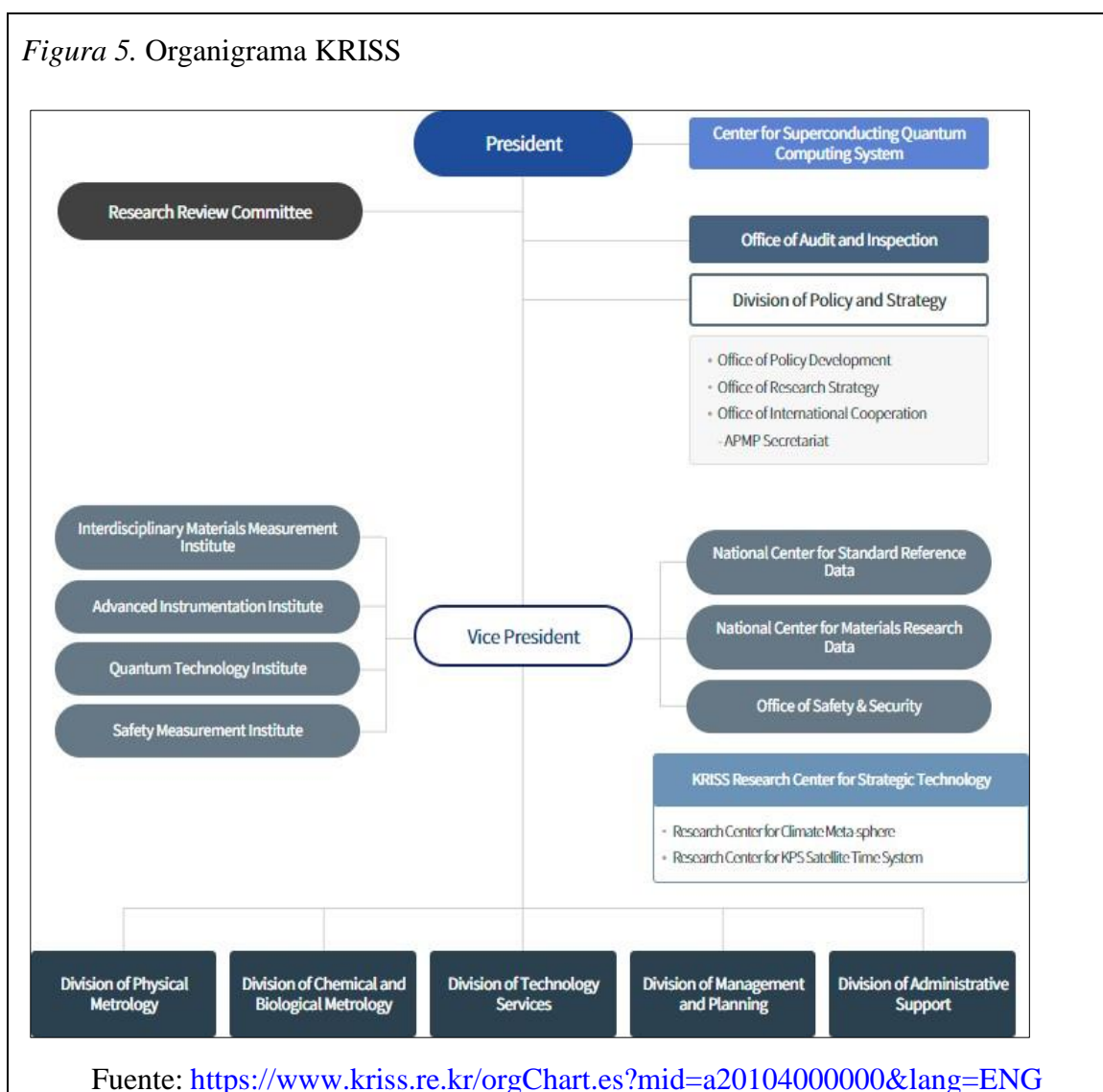
- Establecimiento y mantenimiento de estándares nacionales de medición de acuerdo

con la demanda nacional.

- Difusión de unidades SI mediante la prestación de servicios de calibración, prueba y material de referencia.

- Investigación y desarrollo de estándares de medición y tecnologías de medición.
- Mantener el sistema de calibración/trazabilidad nacional (Sistema Nacional de Medición)
- Participación en comparaciones internacionales basadas en el CIPM MRA (CIPM Mutual Recognition Arrangement)
- Desarrollo de materiales de referencia con trazabilidad a unidades SI
- Educación y formación, consulta, soporte tecnológico

Figura 5. Organigrama KRISS

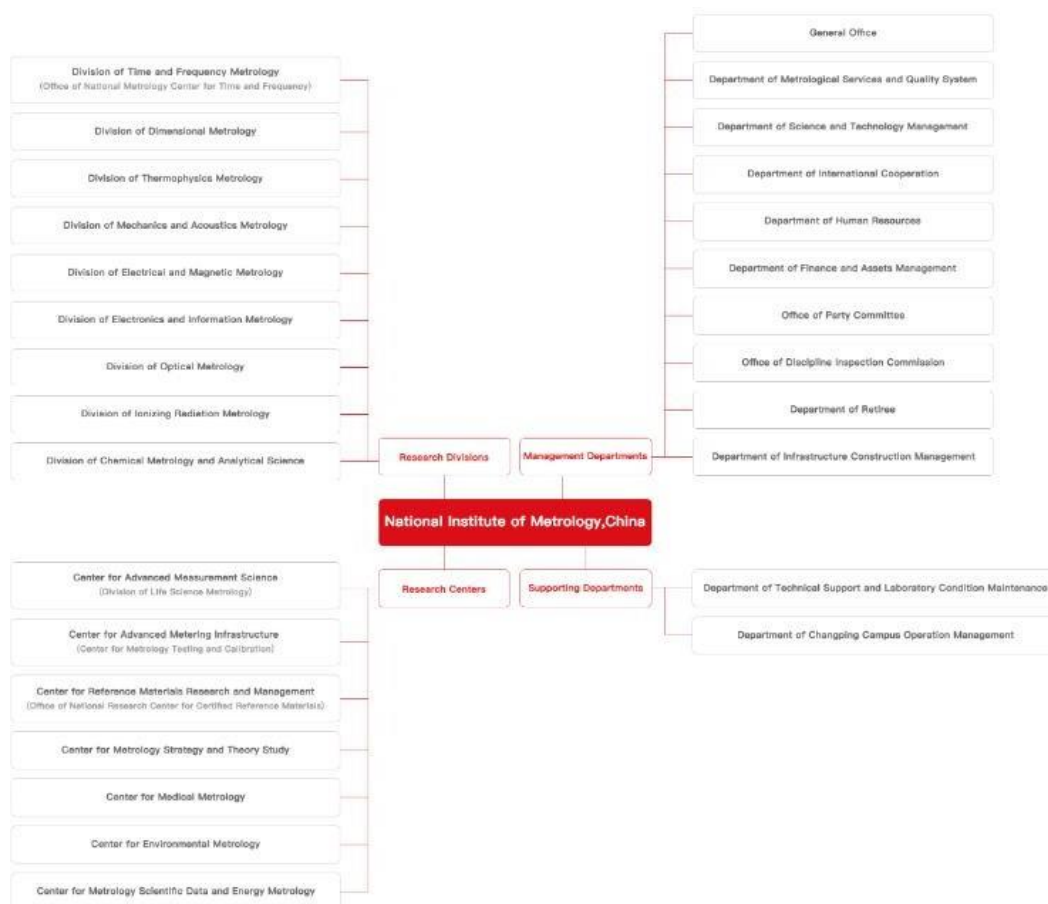


China – NIM China

El Instituto Nacional de Metrología de China (en lo sucesivo, NIM) es el centro de investigación de ciencias de la medición con autoridad legal nacional en el campo de la metrología y una institución de investigación y desarrollo sin fines de lucro.

NIM es responsable de garantizar la consistencia a nivel nacional y la equivalencia internacional de los valores de cantidad, manteniendo las más altas capacidades de medición en China, apoyando la mejora de la calidad del desarrollo de China y enfrentando los desafíos de la nueva revolución tecnológica, promoviendo la innovación científica y tecnológica, el desarrollo económico y social y cumplir con los requisitos estratégicos nacionales.

Figura 6. Estructura organizacional NIM China



Fuente: <https://en.nim.ac.cn/taxonomy/term/130>

Como se ha descrito anteriormente, todos los INMs cuentan con una estructura organizacional bien definida, sin embargo, su tamaño y alcances de operación dependen de su posición a nivel estructura país. Con base en lo anterior y para efectos del presente trabajo han sido agrupados de la siguiente manera:

1. Grandes: Canadá – NRC, EUA – NIST, Brasil – INMETRO, Argentina – INTI, etc.
2. Medianos: México – CENAM, Colombia – INM, Panamá – CENAMEP AIP, Costa Rica – LCM, etc.
3. Pequeños: Burós de normas de la región Caribe y algunos de Centroamérica.

Esta agrupación no considera el tamaño de los INM por la cantidad de su personal o capacidades de medición que ofrecen, sino por el tamaño de la institución que representan a nivel país.

4. Aspectos metodológicos

La presente investigación es aplicada cualitativa de carácter tecnológico y se basa en identificar estrategias que puedan ser aplicadas en un problema específico, con el fin de impulsar un impacto positivo en el ámbito de acción de los Institutos Nacionales de Metrología.

4.1 Hipótesis

Si se diseña, desarrolla e implementa un plan tecnológico en los institutos nacionales de metrología, acorde a las necesidades y retos productivos, comerciales y de la sociedad en general en cada país, entonces, se contribuye de manera planificada a fortalecer y dar soporte científico – técnico y de servicios en metrología a la infraestructura de la calidad y sectores productivos de los países de américa latina.

El desarrollo de un plan tecnológico para INMs debe contener los criterios de factibilidad científico – técnica, viabilidad económica/financiera y equilibrio en la cadena de valor para ser sustentable.

4.2 Relevancia del tema

La ausencia de políticas públicas orientadas a hacer más esbeltas y eficientes las estructuras burocráticas en los países de américa latina y el caribe, la limitada inversión en ciencia, investigación y desarrollo tecnológico y la falta de estrategias tecnológicas que fomenten, mantengan vigentes y faciliten el desarrollo de capacidades de medición pertinentes a las demandas y retos de la sociedad, el gobierno, la academia y la industria (multi hélice) son algunos de los motivos por los cuales se desarrolla el tema de la presente tesis. Esta tesis tiene el objeto de evaluar estructuras y herramientas metodológicas que promuevan y faciliten la operación de los INM con una visión sostenible.

4.3 Pertinencia

El entorno económico globalizado, la competitividad y actualmente la transformación digital, obligan a que cada país cuente con instituciones científicas y tecnológicas que generen y promuevan el conocimiento de manera sistemática y sostenible.

Este conocimiento se debe traducir en desarrollo económico, científico y tecnológico que, a su vez, genere riqueza y/o beneficio social en países de América.

En el ámbito de la metrología, es pertinente contar con instituciones y autoridades que garanticen y promuevan transacciones comerciales confiables, productos y servicios de calidad y normatividad pertinente a las necesidades de cada país.

Contar con un modelo de gestión tecnológica práctico, que a su vez promueva la sostenibilidad es, sin lugar a duda, un elemento que facilitará la planeación, operación y mejora de planes estratégicos orientados al beneficio de la sociedad en su conjunto.

En el marco de la maestría en Gestión de la Tecnología, el tema de la presente tesis se apega a las líneas de investigación: Decisiones estratégicas en tecnología y prospectiva y difusión de tecnologías.

4.4 Factibilidad

El acceso a información histórica y actual, así como las experiencias y conocimientos generados a la fecha en el ámbito de la metrología y su interacción con actividades científicas, tecnológicas, productivas y comerciales, entre otras, hacen factible el desarrollo del presente trabajo. Si bien los campos de aplicación son muy amplios y diversos, el enfoque será en un sector productivo estratégico y en crecimiento en México, como lo es el aeronáutico.

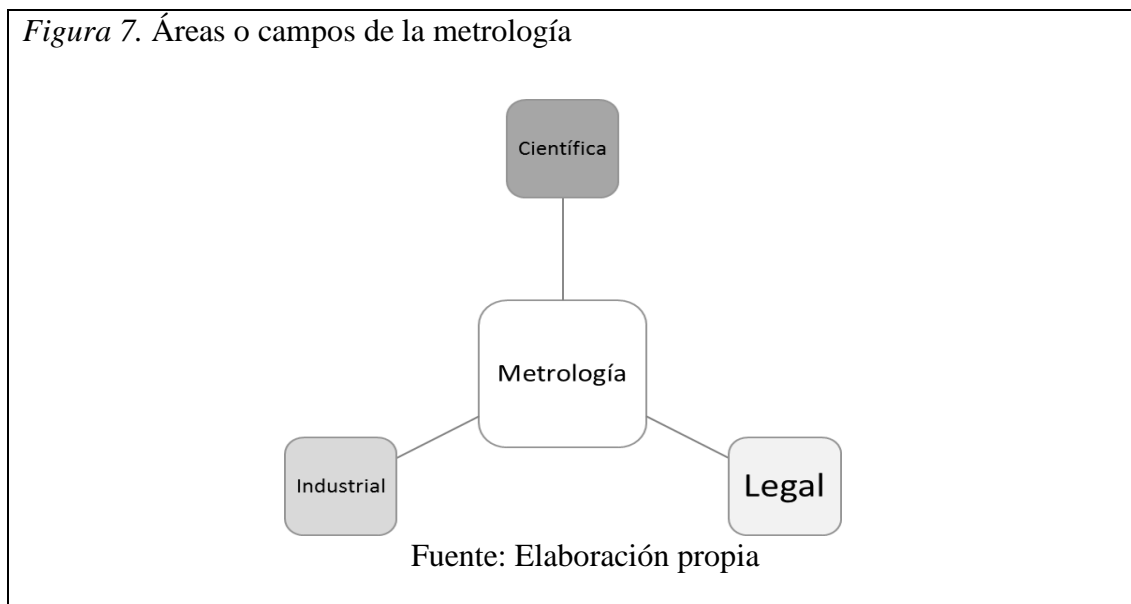
5 Marco conceptual

5.1 Metrología

Actualmente las actividades de medición se engloban en el término de metrología, que etimológicamente viene del griego «μετρον» (métron) medida y del sufijo «logos» del griego «λογία» que se refiere a estudio, tratado o ciencia: “ciencia de las mediciones”. Por tratarse de una ciencia, se fundamenta y sigue el método científico.

El Vocabulario Internacional de Metrología (VIM), estándar internacional la define como la “ciencia de las mediciones y sus aplicaciones. La metrología incluye todos los aspectos teóricos y prácticos de las mediciones, cualesquiera que sean su incertidumbre de medida y su campo de aplicación”. El VIM es un diccionario terminológico de uso mundial que contiene las definiciones que conciernen a la metrología en general.

Generalmente la metrología es dividida en tres áreas con diferentes alcances y niveles de complejidad, exactitud y beneficios:



5.2 Metrología científica

Se refiere al campo de la metrología más sofisticado y tiene que ver con actividades relacionadas con el establecimiento y materialización de las unidades de medida, el desarrollo de patrones y/o estándares de medida, desarrollo de métodos de medición primarios, fuente de la trazabilidad de las mediciones y su correspondiente transferencia a los usuarios.

5.3 Metrología Industrial

Tiene que ver con actividades de soporte en mediciones confiables y más idóneas en los sectores productivos (industrial y de servicios). El desarrollo de ésta contribuye al mejor cumplimiento de estándares de calidad de los productos. La metrología industrial es un elemento clave para el desarrollo económico y la competitividad de los países.

5.4 Metrología Legal

La metrología legal es la aplicación de requisitos legales a mediciones e instrumentos de medición. (OIML, 2019), su ámbito de aplicación abarca el comercio, la seguridad, la salud y el medio ambiente, por ejemplo:

5.4.1 Se compra carne, pescado, frutas y verduras por peso,

5.4.2 Se consume electricidad, gas y agua que se facturan según las mediciones,

5.4.3 Se llenan nuestros autos con combustible por volumen,

5.4.4 Existen controles médicos para asegurarse de mantenerse saludables,

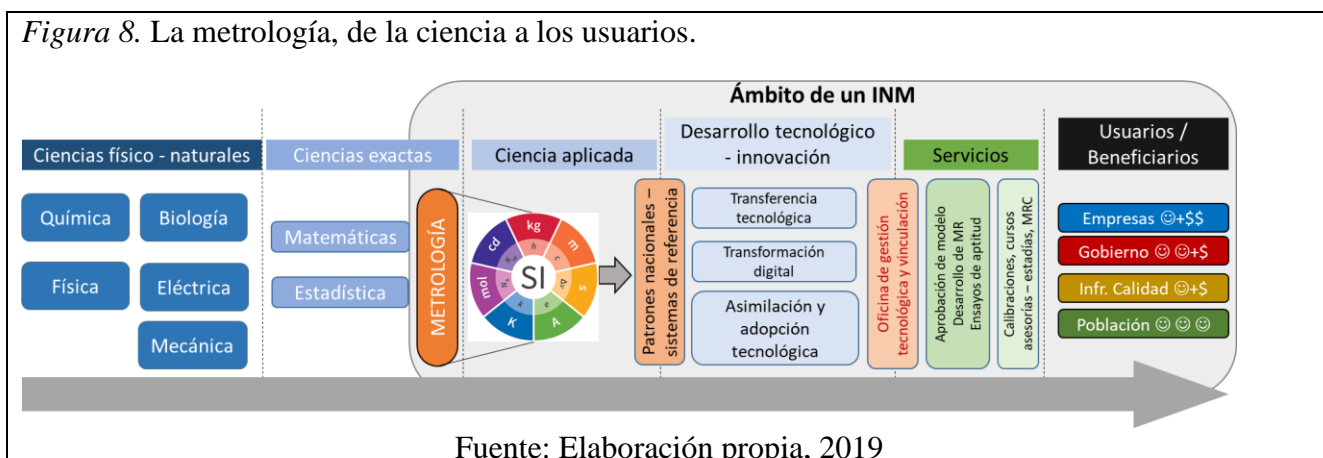
5.4.5 Se mide el tiempo para ser puntuales en las citas y los sistemas de posicionamiento satelital para identificar nuestra ubicación,

5.4.6 Se realizan inspecciones a los vehículos para monitorear los niveles de emisiones contaminantes,

Normalmente la metrología legal se basa en el cumplimiento de normas, estándares o regulaciones de orden legal obligatorio, relacionadas con la calidad de vida, el medio ambiente, la salud, transacciones comerciales, entre otras.

En general, la metrología se fundamenta y apoya de las ciencias puras y las ciencias exactas, con la definición y materialización de las unidades de medida, realizadas por los INM's,

se traducen en beneficios de utilidad a la sociedad, tal y como se muestra en el siguiente esquema general:



La apropiada interacción entre la ciencia, la tecnología, la ingeniería y la innovación sustentan soluciones prácticas e innovadoras de utilidad para la sociedad.

5.5 Sistema Internacional de Unidades (SI)

Con el paso del tiempo, el proceso de medir ha servido, entre otros muchos casos, para conocer y cuantificar dimensiones, cantidades, distancias, dirimir controversias, etc. La uniformidad y estandarización de las unidades de medida fue necesaria en el mundo, de manera inicial, para facilitar el intercambio comercial. En 1960, la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM), adopta al Sistema Internacional (SI) como la referencia mundial en el ámbito de las mediciones con el fin de facilitar el intercambio comercial a nivel global. En el 2019 entraron en vigor las definiciones actuales de las siete unidades base conforme a lo siguiente:



El SI se compone de las siguientes siete unidades basadas en los valores de siete constantes universales:

Tabla 3.

Las siete unidades base del SI

Magnitud	Unidad	Símbolo	Definición
Tiempo	segundo	s	Se define tomando el valor numérico fijo de frecuencia de cesio $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, la frecuencia de transición hiperfina no perturbada del estado fundamental del átomo de cesio 133 es 9 192 631 770 Hz, cuando se expresa en la unidad de Hz, que es igual a s^{-1}
Longitud	metro	m	Se define tomando el valor numérico fijo de la velocidad de la luz en el vacío c es 299 792 458 m/s. Cuando se expresa en la unidad m s^{-1} , dónde el segundo se define en términos de $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
Masa	kilogramo	kg	Se define tomando el valor numérico fijo de La constante de Planck h es $6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ J s, que es igual a $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$, donde el metro y el segundo son definidos en términos de c y $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
Corriente eléctrica	Ampere	A	Se define tomando el valor numérico fijo de la carga elemental e es $1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$ C, la cual es igual a A s, dónde el segundo es definido en términos de $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
Temperatura termodinámica	Kelvin	K	Se define tomando el valor numérico fijo de La constante de Boltzmann k es $1.380\ 649 \times 10^{-23}$ J / K^{-1} , dónde es igual a $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$, donde el kilogramo, el metro y el segundo son definidos en términos de h , c y $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Cantidad de sustancia	mol	Mol	Se define tomando el valor numérico fijo de La constante de Avogadro N_A es $6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$, y es llamada el número de Avogadro. La cantidad de sustancia, símbolo n , de un sistema es una medida del número de entidades elementales especificadas. Una entidad elemental puede ser un átomo, una molécula, un ion, un electrón, cualquier otra partícula o grupo de partículas especificado.
Intensidad luminosa	candela	cd	Se define tomando el valor numérico fijo de La eficacia luminosa de la radiación monocromática de frecuencia $540 \times 10^{12}\ \text{Hz}$, K_{cd} , es $683\ \text{lm/W}^{-1}$, la cual es igual a cd sr W^{-1} , o $\text{cd sr kg}^{-1}\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^3$, dónde el kilogramo, metro y segundo son definidos en términos de h , c y $\Delta\nu_{Cs}$.

Fuente: BIPM SI-Brochure. 2019

De estas se derivan el resto de las unidades de medida empleadas en diversos campos. Como se mencionó anteriormente, los Institutos Nacionales de Metrología son los encargados de regir y gestionar en cada país las actividades de medición, es por ello que se vuelve importante contar con sistemas de gestión eficientes que faciliten y garanticen la transferencia de conocimientos y de tecnologías que den soporte a los sectores productivos de los países.

En este sentido, la gestión de la tecnología es pertinente y de utilidad práctica para lograr los objetivos de los INM.

5.6 Administración (gestión) de la Tecnología

Existen diversas formas de conceptualizar a la gestión o administración de la tecnología, Erosa y Arroyo (2007), resaltan la importancia de la tecnología como un instrumento de competitividad, y es por ello la necesidad de fortalecer y enfocar las habilidades y competencias (*soft skills*) de los administradores en el uso eficiente y vinculación de los recursos tecnológicos con el ambiente y la estrategia del negocio o la organización; en este sentido, mencionan que la administración de la tecnología es el nodo o interface entre la ingeniería y los negocios, que involucra las actividades estratégicas y

operacionales de toda empresa u organización.

El National Research Council de Estados Unidos (1987), la definen como el medio que une las disciplinas de ingeniería, ciencias y administración con el fin de planear, desarrollar e instrumentar las habilidades tecnológicas para definir y establecer los objetivos estratégicos y operacionales de una organización. En resumen, es el medio a través del cual se identifica, desarrolla, implementa y transfiere la utilización óptima de la tecnología.

5.7 Planeación o planificación tecnológica

De acuerdo con Erosa y Arroyo (2012) la planeación tecnológica se refiere a un proceso metodológico orientado a alinear la tecnología de las organizaciones con la estrategia de negocios como soporte a los procesos operativos. Según Castellanos (2007), una estrategia de planificación tecnológica considera actividades de planificación estratégica, que facilita información relacionada con el diagnóstico tecnológico, y a su vez contribuya en hacer productivo el conocimiento y la información. Asimismo, (Castellanos, 2007), el proceso debe de ser continuo, flexible e integral, de tal manera que permita generar capacidad de dirigir y de definir la evolución de toda organización, aprovechando las oportunidades presentes y futuras que ofrece el entorno.

5.8 Plan tecnológico

Conforme a la definición de la Real Academia Española (RAE, 2019), un plan se refiere a una intención, proyecto o modelo sistemático donde se especifican detalles para realizar y encauzar una obra o acción. En este contexto, Erosa y Arroyo (2012), definen al proceso de planeación tecnológica como el resultado un documento llamado “Plan tecnológico”. De acuerdo con el Modelo de Gestión de la Tecnología del Premio Nacional de Tecnología e Innovación en México, un plan tecnológico se define como un documento que incorpora los resultados del diagnóstico y pronóstico tecnológicos; los objetivos tecnológicos de la organización; la estrategia tecnológica; la cartera de proyectos tecnológicos, recursos a utilizar, y el plan de acción y seguimiento.

5.9 Paquete tecnológico

Para efectos del presente trabajo se entenderá por paquete tecnológico la lista integrada de potenciales proyectos e iniciativas de innovación y de desarrollo tecnológico identificados que permitan instrumentar la estrategia del instituto de manera efectiva y exitosa. El paquete tecnológico es el resultado del proceso de planeación tecnológica del instituto e incluye una cartera o portafolio de proyectos tecnológicos.

5.10 Desarrollo sostenible

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU) el desarrollo sostenible se refiere al “desarrollo capaz de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades, para ello es fundamental armonizar tres elementos básicos, a saber, el crecimiento económico, la inclusión social y la protección del medio ambiente”. Si bien un INM no busca, en lo fundamental, ser auto sostenible; ante las realidades y políticas de gobierno en países de América Latina, particularmente en México, se vuelve importante buscar fuentes, medios y/o herramientas de financiamiento que ayuden a disminuir la carga de recursos públicos destinados a la metrología, de manera particular en el ámbito productivo.

5.11 Instituto Nacional de Metrología (INM)

Es una institución dependiente del estado, que se encarga de desarrollar y coordinar todas las actividades de metrología de un país.

De acuerdo con la Organización Nacional de la Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), la confianza y validez de las mediciones que se realizan en los países, está asegurada por los institutos nacionales de metrología (INM) cuando se convierten en signatarios del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo del Comité Internacional de Pesos y Medidas (CIPM MRA). “El CIPM MRA ofrece el marco institucional y técnico para que los INM reconozcan las normas de medición y certificados de calibración, apoyando así el comercio mundial”.

Los Institutos Nacionales de Metrología, tienen como objetivos contar con referencias confiables y equiparables entre países en todo el mundo. De igual manera son

actores importantes que dan soporte a la innovación, la competitividad, el comercio, la seguridad de los consumidores y el desarrollo sostenible a través de la participación efectiva en la comunidad internacional de metrología.

En materia económica, un INM puede ser considerado un bien público, ya que conforme a la definición de Pyndick (2013), se trata de un bien que no es excluyente ni rival, es decir, el costo marginal de provisión a un consumidor es cero y además no es posible excluir a ninguna persona de su consumo, tal es el caso de la defensa nacional, las vías de comunicación y parques urbanos, por poner algunos ejemplos.

Goolsbee, Levitt & Syverson (2015), definen como bien público todo aquel que es accesible al que quiere consumirlo y que mantiene su valor inalterado, independientemente de quienes o cuantos lo consuman.

5.12 Infraestructura de la calidad (IC)

La Organización de las Naciones Unidas, mediante la agencia especializada ONUDI, que promueve el desarrollo industrial, buscando reducir la pobreza, la globalización inclusiva y la sostenibilidad del medio ambiente, define la infraestructura de la calidad como un sistema “dinámico” y adaptable, que contribuye al cumplimiento de los objetivos del gobierno en el desarrollo industrial, la competitividad comercial global, el uso eficiente de los recursos naturales y humanos, la seguridad alimentaria, la salud, el medio ambiente y el cambio climático.

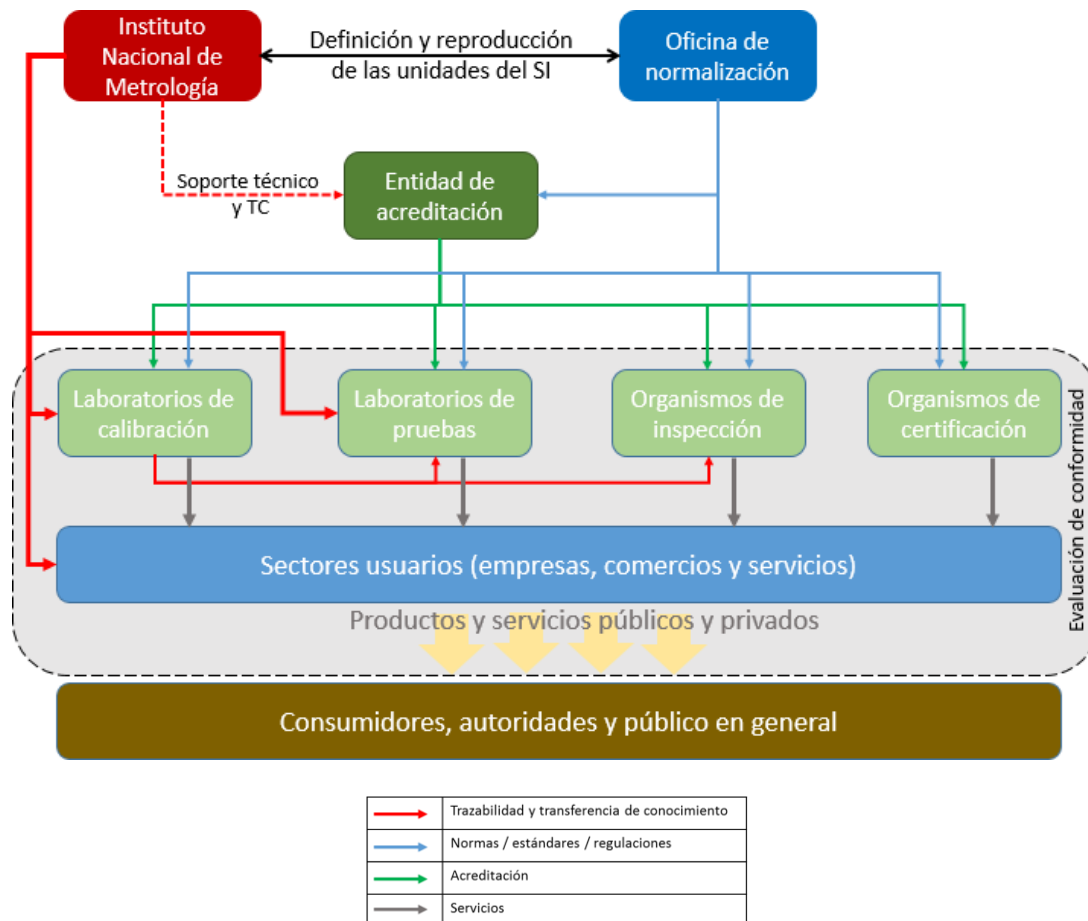
La ONUDI sostiene que la IC es un factor fundamental y práctico que los países en desarrollo deben tener, con el fin de afianzar el crecimiento de economías que promuevan la prosperidad, el bienestar y la salud. Para ello, es indispensable contar con política pública pertinente y debidamente instrumentada, instituciones, proveedores de servicios y conocimiento del valor agregado del uso de normas internacionales y procedimientos de evaluación de la conformidad de utilidad práctica.

La IC se compone de tres grandes funciones: la metrología, la normalización y la acreditación, que, con la evaluación de la conformidad, cierran el ciclo de la calidad, como se muestra en el siguiente esquema:



Estas actividades son desempeñadas por sus respectivas oficinas o institutos, según el país, con su respectiva interacción, como sigue:

Figura 11. Interacción de los actores de la infraestructura de la calidad



Fuente: Elaboración propia adaptada del Banco Mundial y el PTB

6 Objetivos

6.1 Objetivo general

Formular un plan tecnológico de aplicación genérica para Institutos Nacionales de Metrología (INM), basado en el uso de información, experiencias y conocimientos relacionados con un sector productivo estratégico, que contribuya a fortalecer, sistematizar y a incrementar el potencial tecnológico y organizacional, con el objeto de atender problemáticas, retos y/o necesidades presentes y futuras en mediciones de un país en un sector estratégico emergente.

6.2 Objetivos específicos

- **Identificar** los componentes clave de la planeación tecnológica.
- **Seleccionar** una plataforma (modelo) tecnológica estratégica de uso genérico en un INM.
- **Proponer** al menos un portafolio PAQUETE tecnológico orientado a atender las necesidades internas del INM, en línea con las necesidades de los sectores y/o grupos de interés más prioritarios, como lo es el aeroespacial para este caso.

7 Justificación de la investigación

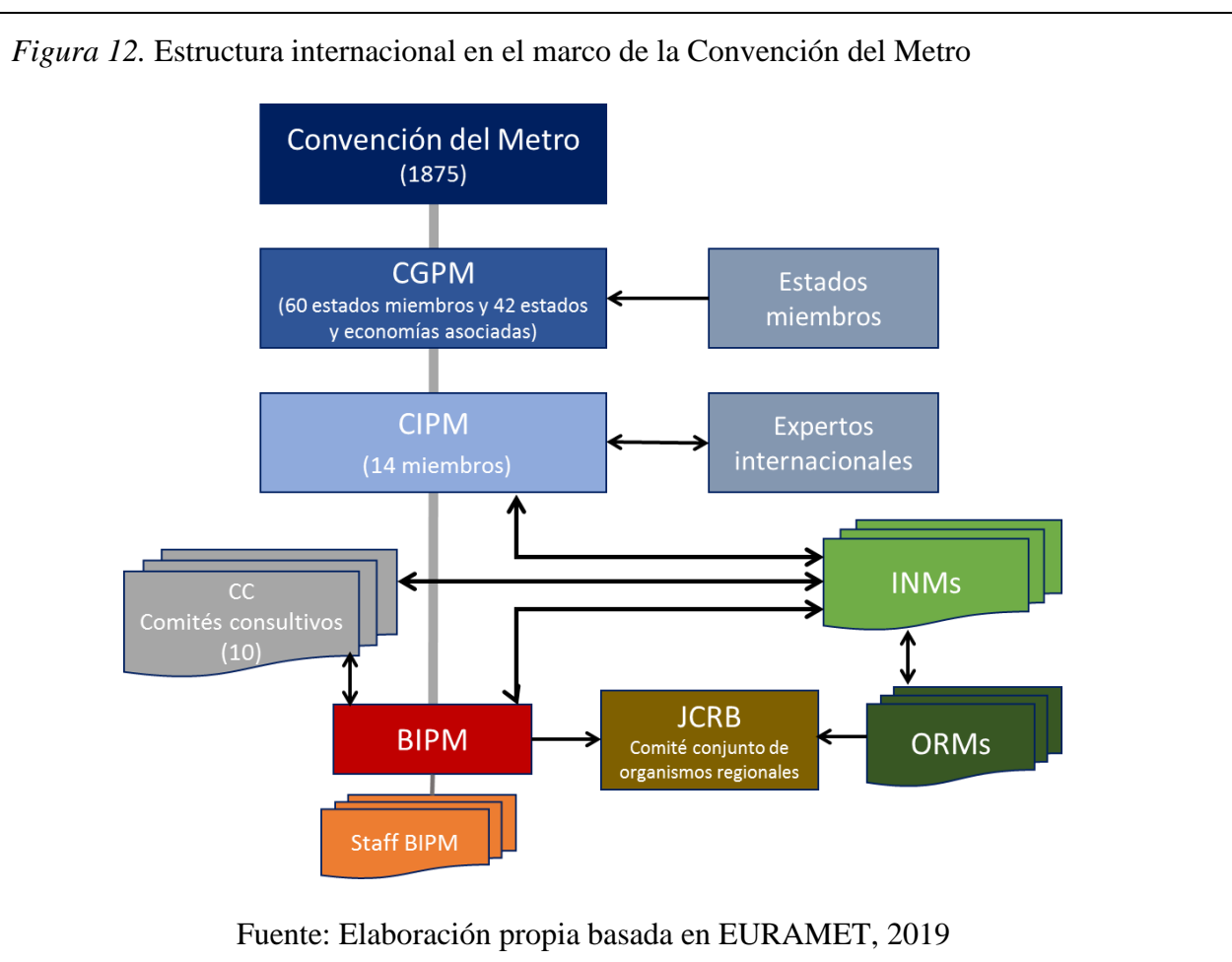
El trabajo de tesis atiende los siguientes retos:

- Falta de un modelo sistemático práctico con estrategias tecnológicas, que impulse y fomente el desarrollo de tecnologías y servicios de mediciones, orientadas a atender problemáticas y retos presentes y futuros de los sectores productivos en las cadenas de valor de estos.
- Necesidad de desarrollar una prospectiva y planeación tecnológica y sistemática, orientada a satisfacer las necesidades y/o retos de medición de países en desarrollo / economías emergentes.

8 Caso de estudio

8.1 Entorno mundial

A nivel mundial las actividades relacionadas con la metrología son coordinadas por el Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM), ubicado en Sèvres, Francia. Fue constituido en la Convención del Metro del 20 de mayo de 1875, con fundamento legal en los artículos 1º, 3º, 6º y 7º como una organización intergubernamental bajo la autoridad de la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) y la supervisión del Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM).



Su misión es trabajar con los institutos nacionales de metrología (INMs) de los estados miembros, las organizaciones regionales de metrología (ORM) y los socios estratégicos en todo el mundo, empleando su estatus internacional e imparcial para promover y fortalecerla comparabilidad global de las mediciones, en los ámbitos de:

- El descubrimiento científico y la innovación
- La manufactura industrial y el comercio internacional
- Mejorar la calidad de vida y el mantenimiento global del medio ambiente.

Sus objetivos son:

- 8.1.1 Representar a la comunidad mundial de metrología, con el objetivo de maximizar su aceptación e impacto.
- 8.1.2 Ser un centro de colaboración científica y técnica entre los estados miembros, proporcionando capacidades para las comparaciones de medición internacionales sobre una base de costos compartidos
- 8.1.3 Ser el coordinador del sistema de medidas mundial, asegurando de proporcionar resultados de medición comparables e internacionalmente aceptados.

El cumplimiento de su misión y objetivos se soporta con actividades relacionadas con:

- La construcción de capacidades que logren un equilibrio global entre las capacidades de medición en los estados miembros.
- Transferencia de conocimiento, lo que garantiza un mayor impacto.

Existen seis Organizaciones Regionales de Metrología (ORMs), reconocidas dentro del grupo de trabajo del Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) MRA (arreglos de reconocimiento mutuo), por sus siglas en inglés.

- i. Intra-Africa Metrology System (AFRIMETS);
- ii. Asia Pacific Metrology Programme (APMP);
- iii. Euro-Asian Cooperation of National Metrological Institutions (COOMET);
- iv. European Association of Metrology Institutes (EURAMET);
- v. Gulf Association for Metrology (GULFMET);
- vi. Inter-American Metrology System (SIM).

Figura 13. Mapa con Organizaciones Regionales de Metrología



Fuente: BIPM, 2019 s.p.

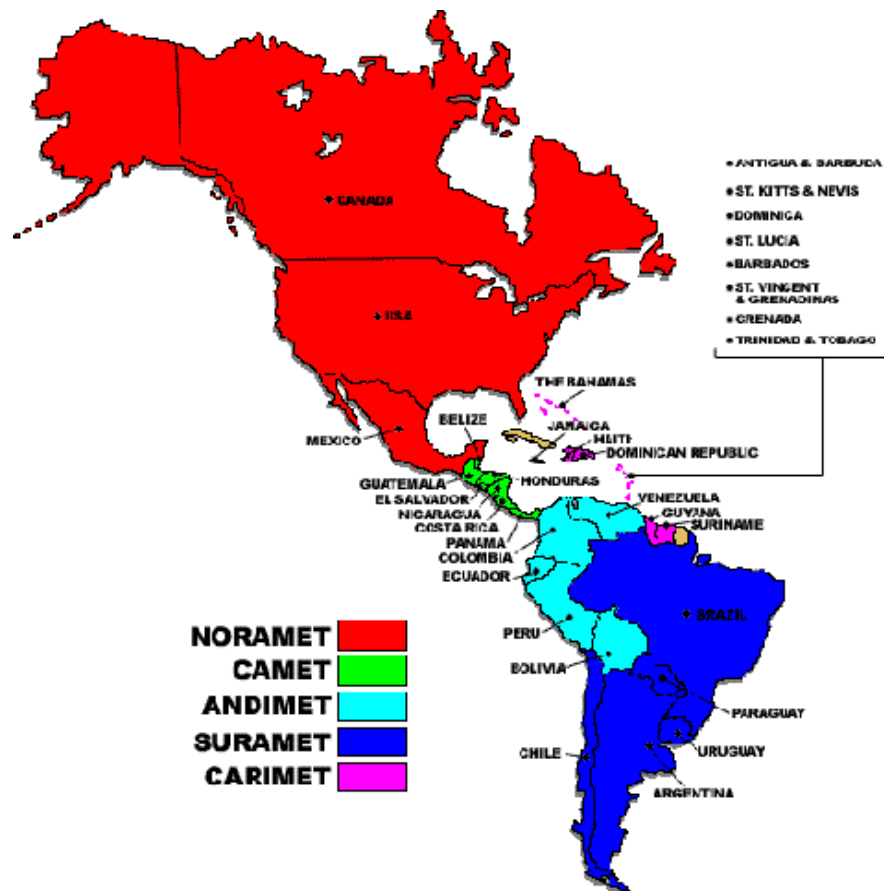
<https://www.bipm.org/en/worldwide-metrology/regional/>

Las ORMs se integran de los diferentes Institutos Nacionales de Metrología (INM), cuyas actividades se enuncian a continuación:

- hacer propuestas a los comités consultivos sobre la elección de comparaciones clave.
- llevar a cabo las comparaciones clave de las ORMs, descritas en el suplemento técnico del acuerdo, correspondientes a las comparaciones clave del CIPM
- participar en los comités conjuntos de organismos regionales (JCRB)
- llevar a cabo comparaciones complementarias y otras acciones designadas para respaldar la confianza mutua en la validez de los certificados de calibración y medición emitidos por los INMs participantes.

El Sistema Interamericano de Metrología (SIM), fue creado en 1979 para promover y apoyar una infraestructura de medición integrada en el caribe, norte, sur y centro américa. En el siguiente mapa se muestran las sub-regiones y países que integran al SIM.

Figura 14. Institutos Nacionales de Metrología miembros del SIM y regiones que lo integran.



Fuente: <https://sim-metrologia.org/about-us/members/> (mayo, 2019)

México, mediante su INM, el Centro Nacional de Metrología (CENAM), forma parte del Sistema Interamericano de Metrología (SIM). Su carácter de estado miembro en el BIPM, su participación activa, el intercambio tecnológico y las relaciones entre sí con los miembros de esta región, son elementos clave que podrán facilitar el desarrollo y la puesta en práctica de los resultados que deriven del presente trabajo.

8.2 Entorno nacional

En México el Centro Nacional de Metrología (CENAM) se creó en 1994. La Ley de Infraestructura de la Calidad, publicada en el 2020, establece en su artículo 95 que el

sistema de metrología forma parte del Sistema Nacional de Infraestructura de la Calidad, su objetivo es procurar la uniformidad y confiabilidad de las mediciones que se realizan en el país y asegurar la comparabilidad de estas respecto de las realizadas en otros países, a través de la metrología científica, la metrología legal y la metrología industrial. El sistema de metrología se integra por el Centro Nacional de Metrología, los Institutos Designados de Metrología, las Entidades de Acreditación, los Organismos de Evaluación de la Conformidad y demás entidades públicas o privadas que la Secretaría determine, con la opinión favorable del Centro Nacional de Metrología o de los Institutos Designados de Metrología.

El artículo 105 de la misma Ley determina que el CENAM tendrá las siguientes atribuciones:

- I. Fungir como Instituto Nacional de Metrología y coordinador, en conjunto con la Secretaría, del sistema de metrología;
- II. Desarrollar, establecer, conservar los patrones nacionales de medida y los materiales de referencia certificados y diseminar sus valores con el objetivo de ser el origen de la trazabilidad de las mediciones que se realicen en el país, a reserva de que el patrón nacional de medida o material de referencia certificado pueda ser establecido por algún Instituto Designado de Metrología de acuerdo con su competencia en la materia;
- III. Autorizar los patrones nacionales de medida y materiales de referencia certificados, con el conocimiento de la Secretaría, que establezcan y desarrollen los Institutos Designados de Metrología;
- IV. Llevar a cabo actividades de investigación científica, de desarrollo tecnológico e innovación, así como de transferencia de tecnología y divulgación, para fortalecer y avanzar el conocimiento en la metrología, con el propósito de asegurar, mejorar la exactitud y la confiabilidad de las mediciones que se realizan en el país en actividades comerciales, de servicios, productivas, científicas y tecnológicas;
- V. Con la autorización de la Secretaría, otorgar el carácter de Instituto Designado de Metrología de acuerdo con lo previsto en esta Ley y en su Reglamento;

- VI. Opinar sobre la inclusión de entidades públicas o privadas como participantes en el sistema de metrología, a solicitud de la Secretaría, de acuerdo con lo previsto en esta Ley y en su Reglamento;
- VII. Proporcionar servicios de medición y de calibración de patrones de medida e instrumentos para medir; certificar y proveer materiales de referencia y emitir los certificados correspondientes; prestar servicios de asesoría y realizar proyectos de desarrollo tecnológico para los sectores usuarios;
- VIII. Realizar peritajes de tercería, a solicitud de parte; así como efectuar mediciones o pruebas en los procesos de Evaluación de la Conformidad, a solicitud de la Secretaría, de las demás Autoridades Normalizadoras, o de los Organismos de Evaluación de la Conformidad;
- IX. Participar en la elaboración de Normas Oficiales Mexicanas y Estándares, entre otros, y realizar estudios de viabilidad técnica sobre metrología legal en las cuales se establezca el control legal de instrumentos para medir y que deben ser considerados en el Procedimiento de Evaluación de la Conformidad;
- X. En términos de las Normas Oficiales Mexicanas, aprobar los modelos de instrumentos para medir sujetos a control legal;

Se subrayan las fracciones II y IV por ser el mandato jurídico que le atribuye al CENAM actividades relacionadas con la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación. Por su valor estratégico para el país, el CENAM se considera como un bien público en ciencia y tecnología, ya que requiere de recursos públicos para sostener y desarrollar la metrología primaria de manera consistente en el marco del Tratado del Metro, en el que México es miembro desde el año de 1890, y contribuir de manera significativa para el establecimiento de mecanismos de transferencia de tecnología en materia de metrología hacia los sectores estratégicos prioritarios del país, según lo determina la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) de México, mediante su cuenta pública¹.

¹ La Cuenta Pública es el informe que integra la Secretaría de Hacienda y Crédito Público y presenta a la Cámara de Diputados para su revisión y fiscalización, contiene la información contable, presupuestaria, programática y complementaria de los Poderes Ejecutivo, Legislativo y Judicial, de los Órganos Autónomos y de cada ente público del Sector Paraestatal, en cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 74, fracción VI de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y en los artículos 46 y 53 de la Ley General de Contabilidad Gubernamental. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CP/home>

La oferta tecnológica y de servicios especializados del CENAM se traduce en beneficios sociales y productivos que la propia SHCP identifica y describe de la siguiente manera:

- **Beneficios sociales.**

Estos beneficios se valoran con la confiabilidad y la uniformidad de las mediciones en múltiples actividades como la protección al consumidor y el intercambio equitativo de bienes y productos; en la protección de los sistemas nacionales de transporte y comunicaciones; de la salud humana, del medio ambiente, o bien en las actividades laborales; en los esquemas de seguridad pública y de protección civil; en las disposiciones oficiales de protección y uso de los recursos naturales; en el uso eficiente de la energía, entre otras. De particular importancia es la exactitud que se requiere en algunas mediciones como el uso de nuevas tecnologías de medición en equipo para diagnóstico y tratamiento médico y en el desarrollo de fármacos; en el desarrollo y uso de organismos genéticamente modificados; en la determinación de la inocuidad de alimentos; en la determinación de riesgos a la salud por el uso de tecnologías de radiaciones ionizantes (con sustancias radioactivas) y no ionizantes (ultrasonido médico, resonancia magnética nuclear); las tecnologías de medición utilizadas en las transacciones comerciales de grandes volúmenes de cantidad, por ejemplo, hidrocarburos, combustibles, granos, alimentos.

- **Beneficios en los sectores productivos.**

Estos beneficios están relacionados con el aseguramiento de la calidad de bienes y servicios. Todo tipo de empresas demandan al CENAM un soporte técnico de alto contenido tecnológico que les permita contar con el soporte metrológico para ser competitivas y poder invertir en nuevas tecnologías para los procesos de producción, las cuales descansan en tecnologías de medición de mayor exactitud y complejidad. La disponibilidad de materiales de referencia certificados que se requieren en procesos productivos como: químicos, farmacéuticos, biológicos, alimentarios, agrícolas, siderúrgicos, petro-químicos y automotriz entre otros, tienen igual importancia.

Los INMs son creados por los gobiernos para dar soporte y validez a las mediciones de referencia que se realizan en los países, por consiguiente, su principal fuente de ingresos proviene de recursos federales, sin embargo, en la medida que desarrollan y ofrecen servicios y capacidades tecnológicas que contribuyan a fortalecer los sectores productivos e

incrementar la competitividad de estos, es inminente el cobro por la oferta tecnológica con la que cuentan. En la siguiente tabla se muestran las fuentes de financiamiento tradicionales para cada función genérica de un INM tomado como base el caso de México:

Tabla 4.

Financiamiento por funciones del INM.

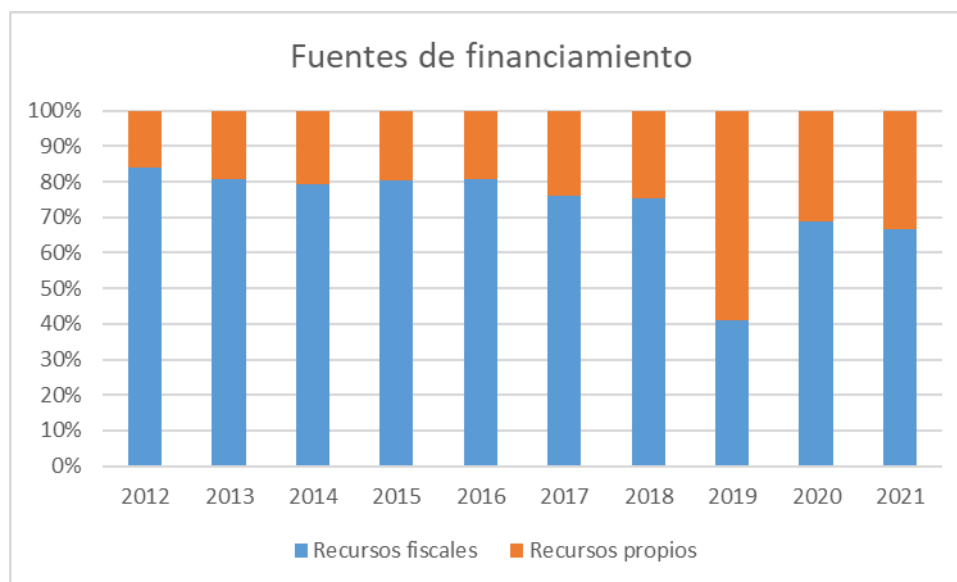
Funciones del INM	Usuarios	Financiamiento
1. Metrología primaria o científica: Desarrollo, mantenimiento y disseminación de las unidades del SI.	Sistema metrológico nacional e internacional, INM, centros de investigación y academia, etc.	<u>100%</u> Recursos públicos de la federación
2. Metrología legal Soporte y confiabilidad en transacciones comerciales, protección del medio ambiente y sociedad, etc.	Organismos o dependencias de evaluación de la conformidad e inspección, etc.	<u>Variable</u> Recursos mixtos para recuperar costos
3. Metrología industrial Servicios especializados, proyectos de desarrollo tecnológico, transferencia de conocimiento, etc.	Sectores industriales, empresas productivas del estado, etc.	<u>100%</u> Recursos privados

Fuente: Elaboración propia adaptada de Echeverría (2003) s.p.

Se marca en rojo el grado de financiamiento para la función de metrología industrial, por ser el campo de estudio en esta investigación y en dónde se centrará el desarrollo del plan tecnológico con una visión sostenible/sustentable.

Como referencia, en el caso de México, las fuentes de financiamiento se muestran en lasiguiente gráfica:

Figura 15. Fuentes de financiamiento INM México.



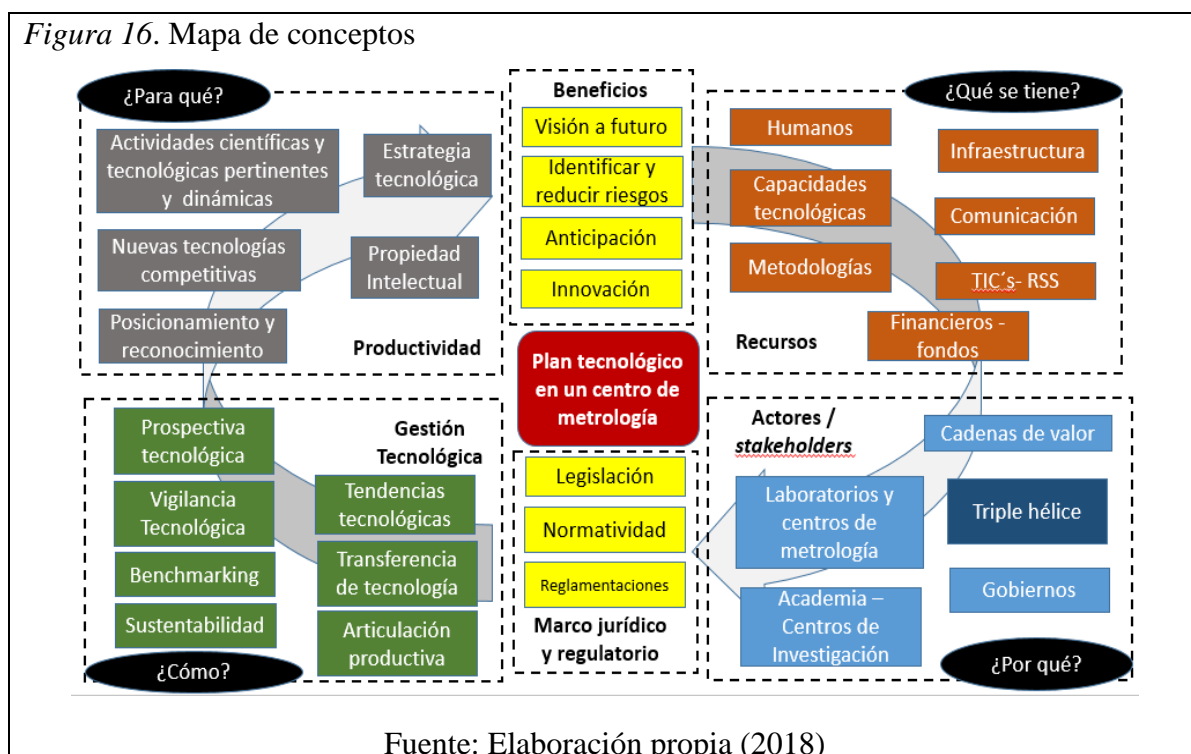
Fuente: Cuenta pública, ejercicioprogramático económico devengado, SHCP (2012 – 2021)

Como puede observarse en la gráfica anterior, en el caso de México en promedio el histórico de sus fuentes de financiamiento es de 80% de recursos de la federación y 20% recursos propios por servicios, con una ligera tendencia de incremento en este último.

La importancia de contar con un plan tecnológico orientado a incrementar los ingresos propios de un INM contribuirá de manera sistemática a fortalecer las finanzas y eventual sostenibilidad de la organización para el caso de servicios y proyectos con sectores industriales.

9 Desarrollo de la investigación.

El desarrollo de un plan tecnológico ligado a actividades de un instituto nacional de metrología involucra diversos conceptos, factores y procesos, que se esquematizan de manera resumida en el siguiente mapa de conceptos de la figura 14.



Como se muestra en el esquema anterior, un plan tecnológico en un INM debe atender, dentro del marco jurídico y regulatorio de cada país, y con base en su estructura y funciones, las demandas y desafíos de la sociedad y de los sectores productivos (*stakeholders*). El uso de herramientas de gestión de la tecnología coadyuva al logro eficaz de los objetivos y a generar los beneficios y/o el desarrollo económico/productivo que demandan las naciones.

En los siguientes apartados se desarrolla, desde la perspectiva de la gestión de tecnología y tomando como base las experiencias de México, una propuesta de plan tecnológico para institutos nacionales de metrología orientado a la atención de desafíos productivos y tecnológicos relacionados con un sector industrial en crecimiento como lo es el aeroespacial.

- **Modelo seleccionado**

El presente trabajo se fundamenta en diferentes modelos de innovación y gestión tecnológica recientes, tales como los relacionados con las cadenas de valor, visión estratégica y de madurez tecnológica, sin embargo, el eje integrador será el desarrollado en México por la Fundación del Premio Nacional de Tecnología e Innovación, que incluye en grandes etapas secuenciales diversos conceptos y metodologías desarrolladas y aplicadas a lo largo del tiempo. Asimismo, se integran y complementa con elementos propios de las experiencias aplicables a los INMs.

- **La gestión de la tecnología en México**

En 1998 por decreto presidencial y con el encargo a la Secretaría de Economía (SE) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), se creó, como un fideicomiso privado, la Fundación del Premio Nacional de Tecnología e Innovación, que tiene como objetivos reconocer los logros sobresalientes de personas, empresas e instituciones que realizan investigación científica y tecnológica, gestión de tecnología e innovación. El premio permite fortalecer la vinculación entre la triple hélice (academia-industria-gobierno) y promover una cultura de innovación en México, asimismo, es el máximo reconocimiento que otorga el gobierno federal a organizaciones mexicanas por generar ventajas competitivas mediante el uso, desarrollo y gestión de recursos e infraestructura tecnológica.

Con el objeto de partir de una base metodológica de referencia, el Premio Nacional de Tecnología e Innovación desarrolló el Modelo Nacional de Gestión de la Tecnología (MNGT), el cual tiene como propósito: *“impulsar el desarrollo de las organizaciones mexicanas de cualquier giro o tamaño, para proyectarlas de manera ordenada a niveles competitivos de clase mundial mediante una gestión de tecnología explícita, sostenida y sistémica”* (PNGT, 2015 pp. 1).

De acuerdo con el MNGT se establecen las siguientes funciones base que se toman de referencia para el desarrollo del presente trabajo:

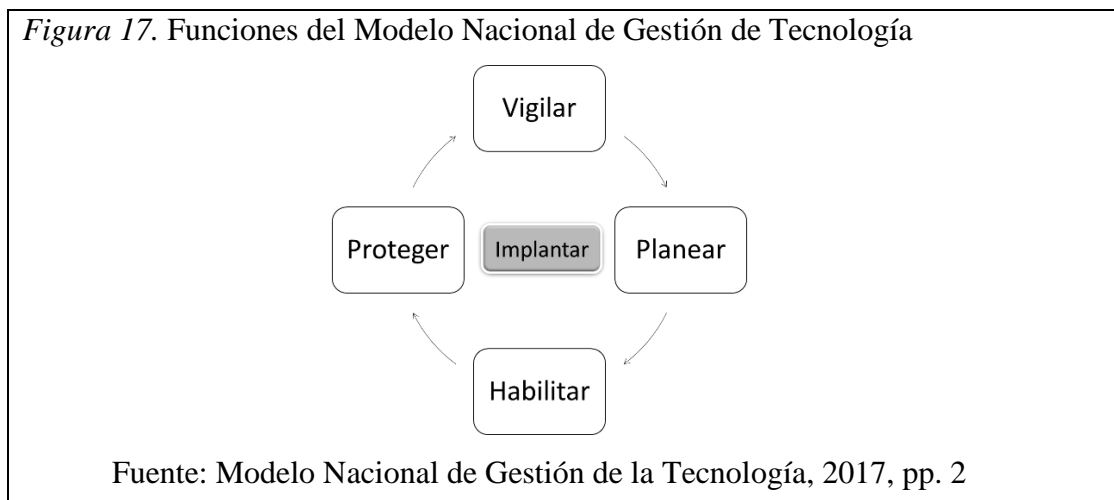


Tabla 5.

Significado de las funciones de la Gestión de la Tecnología y sus procesos correspondientes.

Funciones de GdT Significado y procesos de Gestión de Tecnología

Vigilar	<p>Es la búsqueda en el entorno de señales e indicios que permita identificar amenazas y oportunidades de desarrollo e innovación tecnológica que impacten en el negocio.</p> <p>Vigilancia de tecnologías:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Benchmarking - Elaboración de estudios de mercado y clientes - Monitoreo tecnológico
Planear	<p>Desarrollo de un marco estratégico tecnológico que le permite a la organización seleccionar líneas de acción que deriven en ventajas competitivas. Implica la elaboración de un plan tecnológico que se concreta en una cartera de proyectos.</p> <p>Planeación tecnológica:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Elaboración y revisión del plan tecnológico y de la cartera de proyectos.

Habilitar	<p>Es la obtención, dentro y fuera de la organización, de tecnologías y recursos necesarios para la ejecución de los proyectos incluidos en la cartera.</p> <p>Habilitación de tecnologías y recursos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de tecnología: compra, licencia, alianzas, otros. - Asimilación de tecnología - Desarrollo de tecnología: Investigación y desarrollo tecnológico, escalamiento, etc. - Transferencia de tecnología - Gestión de Cartera de proyectos tecnológicos - Gestión de personal tecnológico - Gestión de recursos financieros - Gestión del conocimiento
Proteger	<p>Salvaguarda y cuidado del patrimonio tecnológico de la organización, generalmente mediante la obtención de títulos de propiedad intelectual.</p> <p>Protección del patrimonio tecnológico:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gestión de la propiedad intelectual
Implantar	<p>Realización de los proyectos de innovación hasta el lanzamiento final de un producto nuevo o mejorado en el mercado, o la adopción de un proceso nuevo o sustancialmente mejorado dentro de la organización. Incluye la explotación comercial de dichas innovaciones y las expresiones organizacionales que se desarrollan para ello.</p> <p>Implantación de la innovación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Innovación de proceso - Innovación de producto - Innovación de mercadotecnia - Innovación organizacional

Fuente: Modelo Nacional de Gestión de la Tecnología. 2017, pp.3

Estas cinco funciones que propone el modelo interactúan entre sí de manera sistémica y deberán ser integradas de manera sistemática en la gestión de la organización y los resultados que la gestión de tecnología aporta a la misma.

La agrupación de los distintos procesos, funciones y/o actividades de un INM será clave para hacer más eficiente su gestión.

“Cuando las actividades de gestión de tecnología se realizan de forma secuencial, sistemática, tienen objetivos y metas claras, y muestran cómo las cosas cambian en el tiempo, constituyen la base de un proceso de gestión de tecnología” pp.2.

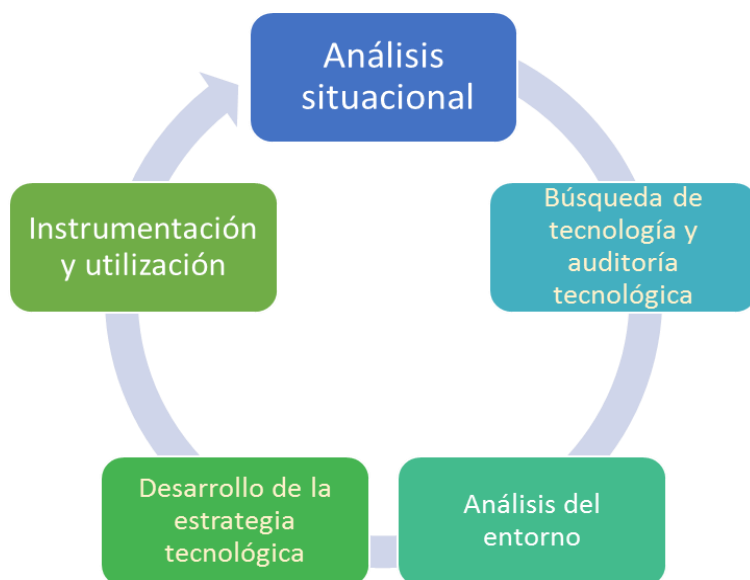
De manera complementaria se toman en consideración otros elementos que

aportaran valor a la investigación propuestos por Erosa y Arroyo (2007), los cuales se describen en los siguientes dos modelos:

Modelo 1: Criterio de recuperación de inversión

Modelo 2: Criterio de competitividad

Figura 18. Esquema metodológico de planeación tecnológica



Fuente: Erosa y Arroyo, 2007 pp. 100

Cada modelo se desarrolla de manera general en 3 etapas:

- Etapa 1: Crear “visión de éxito” del futuro ambiente de negocios.
- Etapa 2: Definir las bases de competencia a futuro y las opciones tecnológicas correspondientes.
- Etapa 3: Evaluación de cada opción tecnológica y equilibrio del portafolio tecnológico

De acuerdo con las características, objetivos y naturaleza de la mayor parte de los INM en América Latina, se opta por usar el Modelo 1: Criterio de recuperación de inversión.

Considerando que el manejo de datos es cualitativo se emplearon técnicas metodológicas como las que a continuación se describen:

Encuestas tipo DELPHI: Son la base de la mayor parte de los estudios de prospectiva realizados. En todos los casos se parte de la elaboración de un conjunto de hipótesis de futuro por un panel de expertos en la temática objeto del estudio. Estas hipótesis consensuadas colectivamente son la materia que valorar por los numerosos encuestados a través de los correspondientes cuestionarios.

Diseño de escenarios: Se utiliza el diseño de escenarios en aquellos casos en que se contemplan posibilidades de evolución antagónicas revestidas de similar nivel de incertidumbre, de forma que este método permita identificar los caminos por los que se va materializando la proximidad a unos u otros de dichos futuros posibles y alternativos.

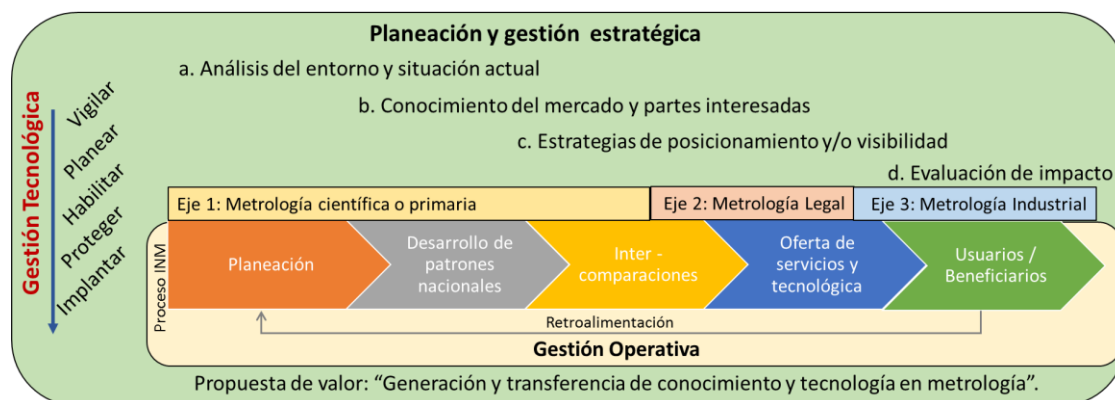
Tecnologías críticas: La identificación de listas de tecnologías críticas permite, mediante la reflexión colectiva de paneles de expertos sectoriales, analizar la evolución posible de las tecnologías en función de su atractivo (propio de la naturaleza de cada tecnología) y del posicionamiento del entorno de aplicación (región, país, sector) en relación con esa tecnología.

Mapas de ruta (Road mapping): Las hojas de ruta parten de la definición de una visión de futuro deseable. Mediante la reflexión colectiva de grupos de expertos que inician su tarea con el análisis de la situación de partida en el entorno considerado, se identifican las acciones tecnológicas y agentes que pueden contribuir a la consecución de esa visión de futuro deseada.

Existen otras herramientas complementarias en los trabajos de OPTI que se utilizan habitualmente, como pueden ser el método de análisis FODA (Fortalezas-Oportunidades-Debilidades-Amenazas), entrevistas en profundidad, aplicaciones informáticas de desarrollo propio para el tratamiento de encuestas, etc.

El siguiente apartado describe la metodología propuesta para el desarrollo de un plan tecnológico en un INM - caso México - orientado a atender las demandas del sector aeroespacial en el campo de la metrología, acotado a un par de ejemplos específicos, para ello se muestra el siguiente esquema guía y que se explica a continuación.

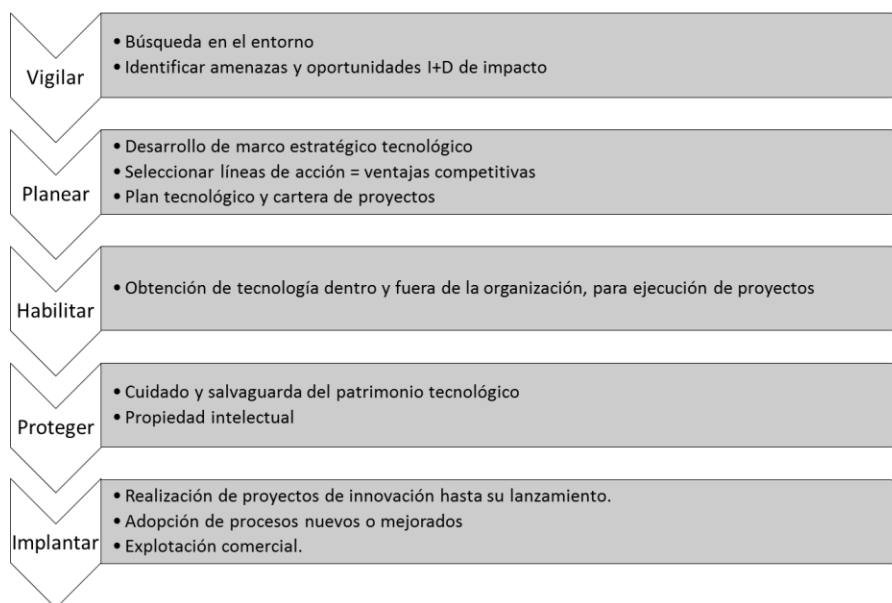
Figura 19. Modelo propuesto de gestión tecnológica en un INM



Fuente: Elaboración propia (2018)

Como ya se ha mencionado, la propuesta de modelo de GT en un INM se basa en el modelo de GT del Premio Nacional de Tecnología de México, que considera las siguientes etapas:

Figura 20. Etapas del modelo de GT del Premio Nacional de Tecnología de México



Fuente: Modelo Nacional de Gestión de la Tecnología. 2017, pp.3

Las cuales forman parte de la planeación y gestión estratégica del INM y que se integran a los procesos operativos del mismo como: Planeación, desarrollo y mantenimiento de patrones nacionales, aseguramiento de la confiabilidad de las medidas intercomparaciones / *peer reviews*) y la oferta tecnológica y de servicios a los beneficiarios y usuarios.

El ciclo operativo es un proceso de mejoramiento continuo y debe considerar la retroalimentación permanente de los interesados y usuarios de los servicios del INM, con el objeto de generar y transferir el conocimiento tecnológico en metrología en servicios, productos y proyectos de innovación y desarrollo pertinentes y sostenibles.

- **Planeación y gestión estratégica**

El entorno competitivo y de sostenibilidad mundial exige que las agendas y políticas públicas en dónde participan los INM estén alineadas a los Objetivos de Desarrollo Sostenible dictados por la ONU.

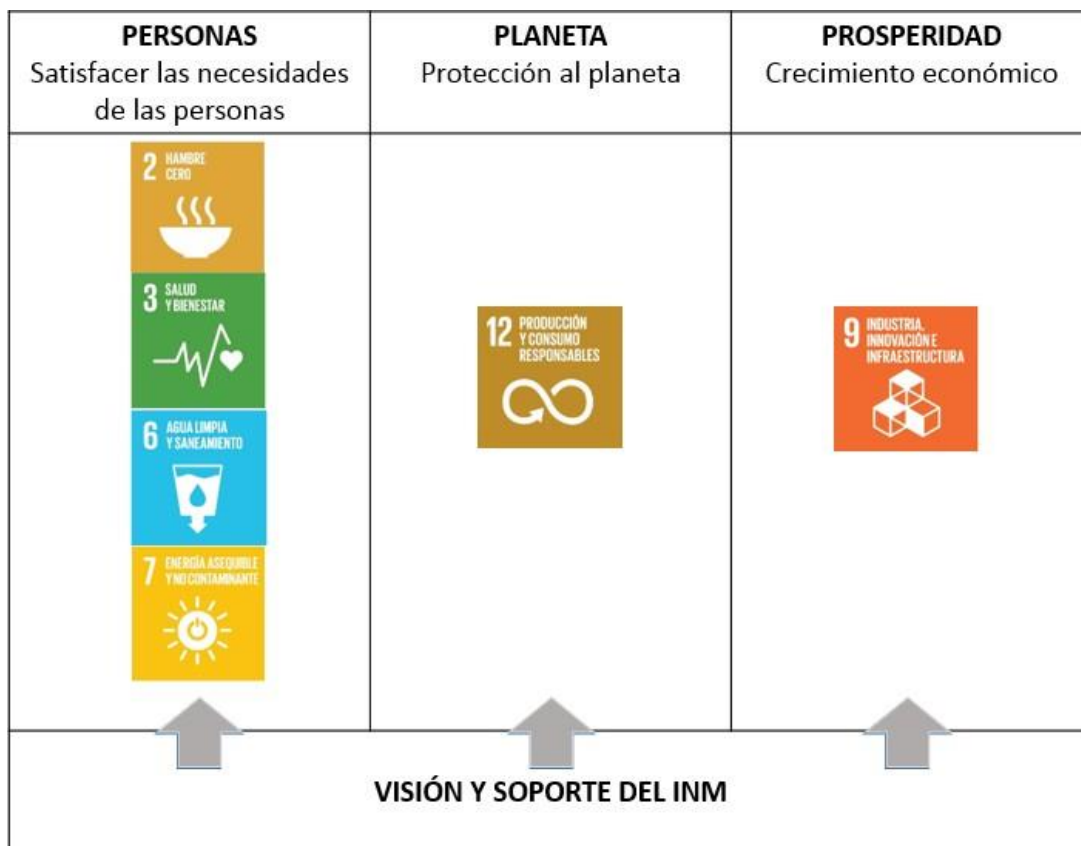


En el 2019 la ONUDI publicó un documento relacionado con la infraestructura de la calidad y su relevancia en el desarrollo inclusivo y sostenible en el marco de los ODS. De manera particular su incidencia en tres de las 5Ps, de los ODS: People (gente), Prosperity (prosperidad) y Planet (Planeta). Dicha publicación muestra los retos que países en desarrollo enfrentan y como la IC les apoya en superarlos. Con el objeto de partir de una visión del entorno global, los INMs deben considerar en su planeación estratégica los temas

de interés mundial, como se muestra a continuación:

Tabla 6.

Soporte del INM a las 3Ps de los ODS.








Fuente: Elaboración propia. 2019

Los INMs, en mayor o menor medida y de acuerdo con sus capacidades y problemáticas locales, deberán priorizar, equilibrar y alinear sus acciones a lo que el mundo demanda.

Adicional a lo anterior, la UNIDO publicó el documento “El rol de la metrología en el contexto de los ODS 2030”, dónde se resalta la importancia de las funciones de la metrología y de los INM’s para contribuir al logro de los ODS, entre los que destacan:

Tabla 7.

Rol de la metrología en el contexto de los ODS 2030.

ODS 2030	Rol de la metrología
	Mediante la metrología legal se aseguran transacciones comerciales justas y equitativas.
	Las mediciones en la salud humana son vitales para una adecuada y confiable prevención, tratamiento y cura de enfermedades.
	En el campo de las energías limpias la metrología juega un rol preponderante, desde el desarrollo de tecnologías de generación, almacenamiento y distribución, hasta el uso eficiente y renovable de las mismas.
	Los países altamente desarrollados, cuentan con institutos nacionales de metrología que dan soporte y validez a los estándares de calidad de los productos/servicios y su comparabilidad a nivel global.
	Mediciones confiables son la referencia para el entendimiento del cambio climático, tales como la atmósfera, océanos y la tierra. El monitoreo permanente de estas variables es requerido, para implementar acciones que contribuyan a abatir sus efectos.

Fuente: Elaboración propia con base en UNIDO (2017 s. p.)

Para efectos de la presente tesis, la propuesta guía para el desarrollo e implementación de un modelo de gestión tecnológica en un INM se enfoca en el ODS No. 17: Industria, innovación e infraestructura y vinculado a la metrología industrial.

- **Vigilancia y planeación**

Con base en el desarrollo económico, industrial y de infraestructura derivada en los últimos cinco años en el estado de Querétaro, México, particularmente en el sector aeroespacial, la vigilancia y la planeación estratégica se enfoca en este sector productivo.

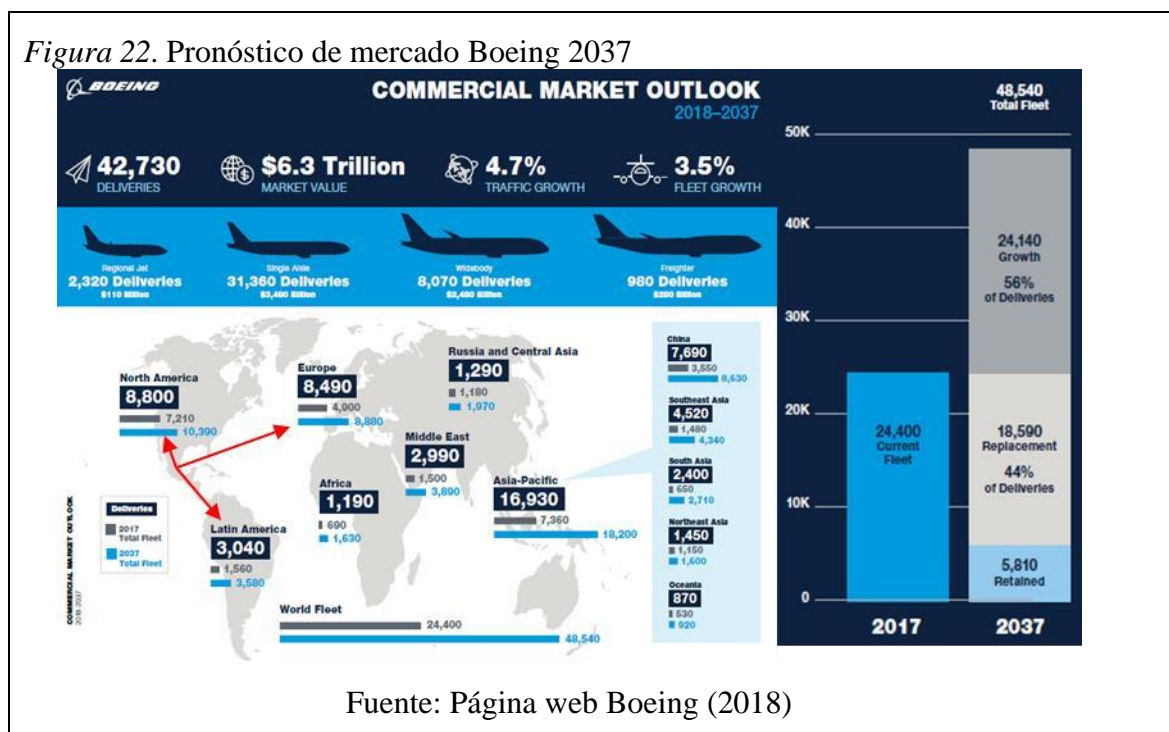
El Centro Nacional de Metrología de México, actualmente no cuenta con un área especializada en vigilancia tecnológica, por lo que estas funciones recaen directamente en las áreas técnicas involucradas con los temas específicos de interés, obteniendo la información de estudios del estado del arte.

9.1 Análisis del entorno internacional del sector aeroespacial

Considerando que el caso práctico está relacionado con el sector aeroespacial comercial, se describe de manera general el entorno internacional del mismo, empezando por la cadena de valor y los principales retos tecnológicos y comerciales basados en el uso de un mapa de ruta tecnológico.

El mercado aeronáutico mundial, en cuanto a manufactura de aeronaves civiles-comerciales y de carga, se rige por cuatro grandes empresas: Airbus (en Europa), Boeing (en Estados Unidos), Bombardier (en Canadá) y Embraer (en Brasil). Con base en el pronóstico comercial de mercado de Boeing 2018 – 2037, la flota mundial deberá crecer a una tasa anual de 3.5%, para así casi doblar la actual flota de 24,400 aeronaves a 48,540 para 2037, generando un valor de mercado de \$6.3 trillones de dólares.

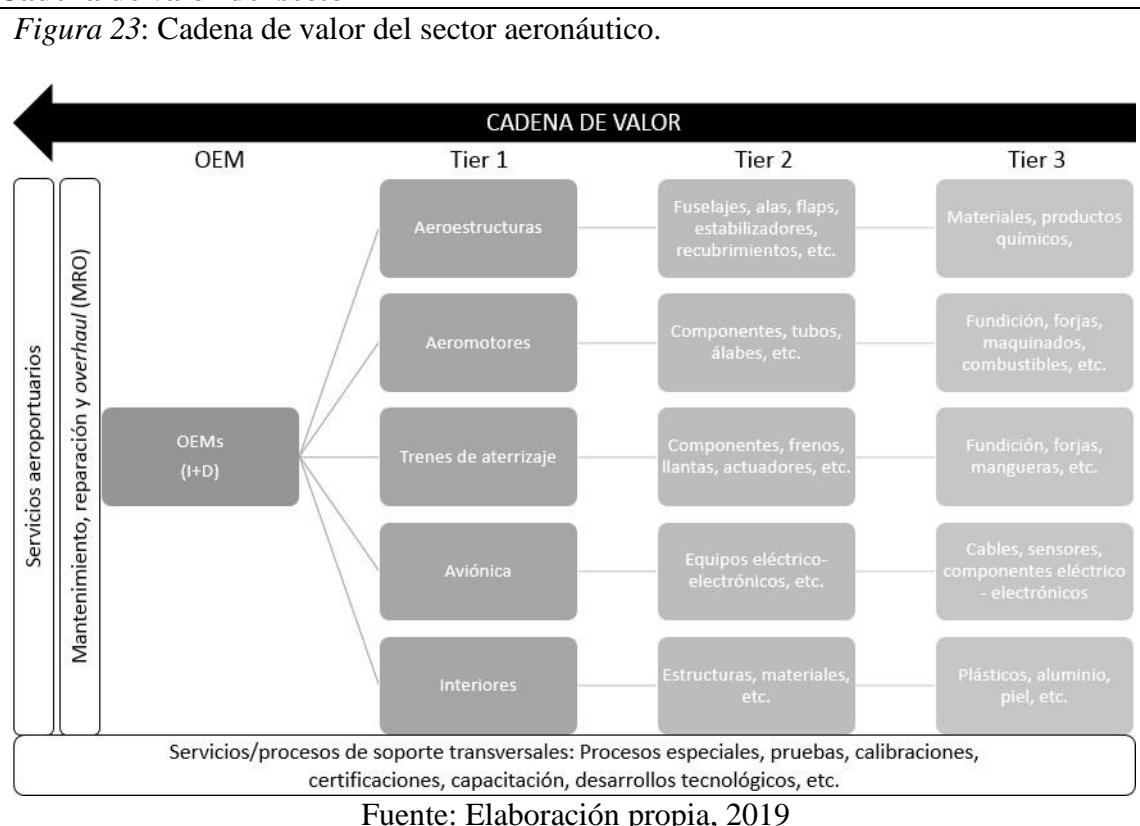
Figura 22. Pronóstico de mercado Boeing 2037



Fuente: Página web Boeing (2018)

Esto implica el desarrollo de oferta de proveedores, servicios y tecnología de mediciones, que garantice la confiabilidad y validez técnica a la amplia y diversa gama de certificaciones requeridas por este sector.

Cadena de valor del sector



Es importante mencionar que la industria aeroespacial en el mundo ha adoptado el concepto llamado *Technology Readiness Levels* (TRL), desarrollado por la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), que identifica los niveles de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) para medir el grado de madurez de las tecnologías y se asignan en función del progreso de esta, desde su conceptualización: nivel 1 (investigación y principios básicos), hasta su uso o aplicación: nivel 9.

En la siguiente figura se muestran los nueve niveles TRL definidos por la NASA y que deben ser considerados en todo proyecto o interacción con el sector aeroespacial:

Tabla 8:

Niveles de madurez tecnológica (TRL) conforme a la NASA

Niveles TRL de la NASA	Traducción libre
<p>TRL 9 •Actual system "flight proven" through successful mission operations</p>	<p>○ TRL 9: Sistema actual probado con éxito en entorno real operando.</p>
<p>TRL 8 •Actual system completed and "flight qualified" through test and demonstration (ground or space)</p>	<p>○ TRL 8: Sistema completo y certificado a través de pruebas y demostraciones.</p>
<p>TRL 7 •System prototype demonstration in a space environment</p>	<p>○ TRL 7: Demostración de sistema o prototipo en un entorno real.</p>
<p>TRL 6 •System/subsystem model or prototype demonstration in a relevant environment (ground or space)</p>	<p>○ TRL 6: Modelo de sistema o subsistema o demostración de prototipo en un ambiente relevante</p>
<p>TRL 5 •Component and/or breadboard validation in relevant environment</p>	<p>○ TRL 5: Validación de componente y/o disposición de estos en un entorno relevante.</p>
<p>TRL 4 •Component and/or breadboard validation in laboratory environment</p>	<p>○ TRL 4: Validación de componente y/o disposición de estos en laboratorio.</p>
<p>TRL 3 •Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof-of-concept</p>	<p>○ TRL 3: Función crítica analítica y experimental y/o prueba de concepto característica.</p>
<p>TRL 2 •Technology concept and/or application formulated</p>	<p>○ TRL 2: Concepto y/o aplicación tecnológica formulada.</p>
<p>TRL 1 •Basic principles observed and reported</p>	<p>○ TRL 1: Principios básicos observados y reportados. (investigación científica-tecnológica básica)</p>

Fuente: Página web NASA, 2019

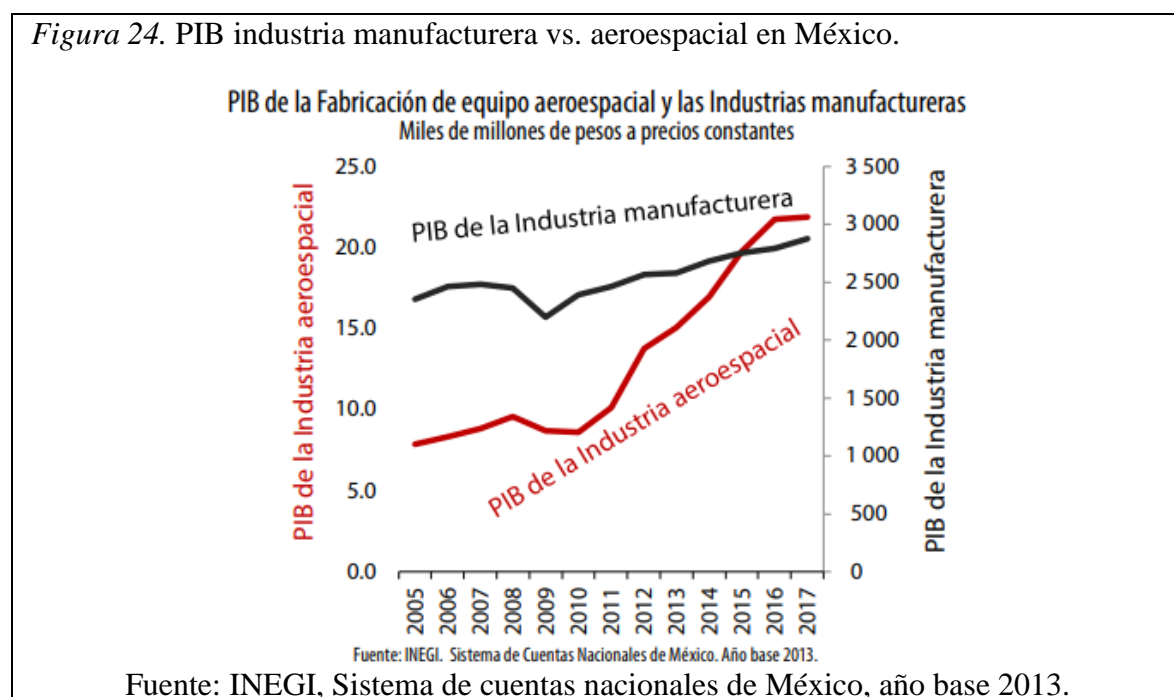
https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_accordion1.html

La aplicación de la metrología es transversal y da soporte científico y tecnológico en todos los niveles de TRL, sin embargo, donde puede ser más visible y con un impacto económico mayor, es a partir del nivel tres, donde inicia la parte experimental de los proyectos y la toma de decisiones para continuar o no con el proyecto.

El sector aeroespacial en México, enfocado mayormente en la manufactura y ensamble de subcomponentes, se apoya de la metrología para calibraciones de instrumentos de medición, capacitación y, esporádicamente, en proyectos de desarrollo tecnológico ligados principalmente al diseño conceptual y/o mejora de sistemas de medición y pruebas.

9.2 Análisis de entorno nacional

En los últimos quince años, México se ha convertido en uno de los principales receptores de inversión extranjera a nivel mundial en el sector aeroespacial, principalmente en el área de manufactura, sin embargo, la dinámica de crecimiento por parte de los grandes corporativos, ligada a la creciente demanda de aeronaves durante los próximos 15 años, les exige contar con alternativas estratégicamente localizadas donde existan áreas de investigación, desarrollo, ingeniería y diseño de productos, procesos y servicios debidamente certificados.



La presencia de la industria aeroespacial en México se concentra en 19 estados con 368 empresas, según lo muestra el siguiente mapa de la Federación Mexicana de la Industria Aeroespacial (FEMIA):

Figura 25. Distribución geográfica de la industria aeroespacial en México



Fuente: Página web de la FEMIA, 2022 (<https://femiamx.com/#!/-conoce-la-industria-2/>)

Considerando que el CENAM se encuentra en el Estado de Querétaro, uno de los polos aeroespaciales de mayor crecimiento a nivel nacional y mundial en los últimos años, el casopráctico se centra en las necesidades y retos de esta región. Al respecto, se muestra en la siguiente figura el rol del CENAM en la cadena de valor del sector aeroespacial en el estado de Querétaro:

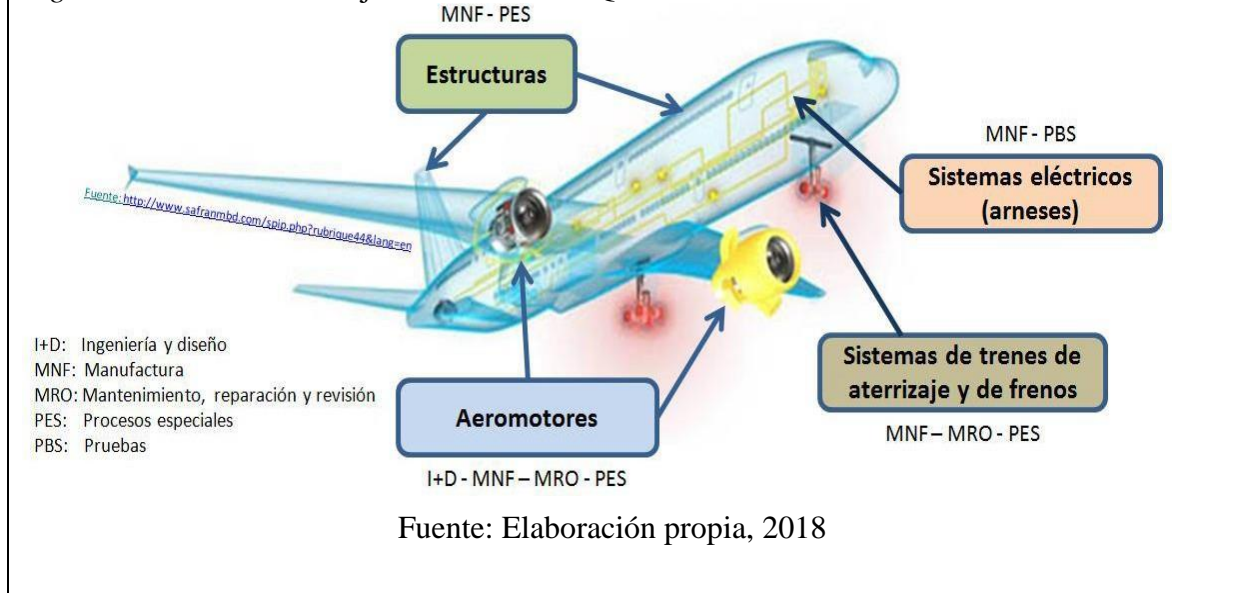
Figura 26. Cadena de suministro local – Querétaro, México.



Fuente: Aeroclúster de Querétaro, A. C., 2019 (<https://aeroclusterqueretaro.mx/members/#value-chain>)

Como se puede observar en el esquema anterior, el Aeroclúster de Querétaro, A. C. agrupa un ecosistema diverso de centros de investigación, organizaciones públicas y privadas, academia y empresas tractoras, desde OEM hasta Tier 2 y proveedoras de servicios en diversas líneas de trabajo.

Figura 27. Líneas de trabajo en el estado de Querétaro



Fuente: Elaboración propia, 2018

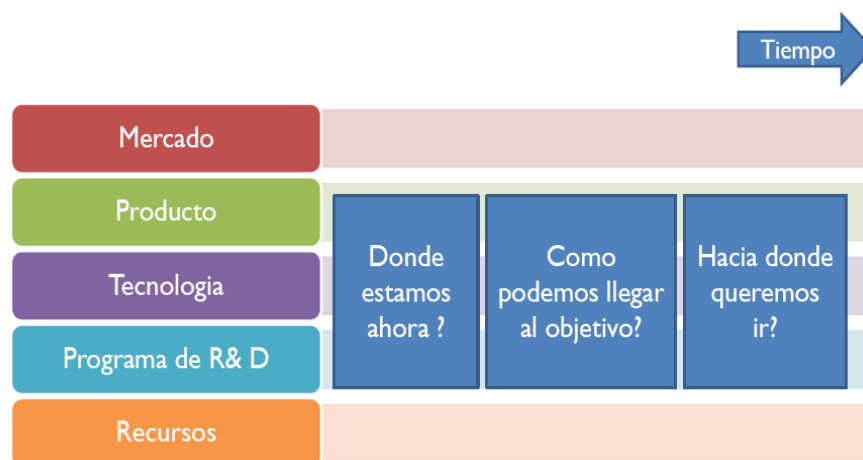
La interacción e involucramiento del CENAM con el sector aeroespacial en México, se ha dado por el acercamiento permanente con los clústeres industriales, con las empresas de la región, con las redes de investigación y por la prestación de servicios necesarios para su operación.

9.3 Desarrollo de plan tecnológico

Como herramienta guía se propone utilizar la metodología de “Mapa de Ruta Tecnológico”, creado por el Centro de Manufactura Tecnológica de la Universidad de Cambridge, y aplicado en México por la agencia de promoción industrial PROMEXICO para análisis prospectivos sectoriales. A continuación, se muestra el esquema genérico para su desarrollo:

Figura 28: Esquema guía para la realización de un Plan –T: Mapa de Ruta

- ▶ Roadmapping permite establecer un enlace entre el presente y el futuro.



Fuente: Elaboración propia tomada de “Plan-T, guía para el inicio en Roadmap Tecnológico, 2009, Phaal, pp. 1.

- Descripción del mapa de ruta

Mercado: Se muestra el contexto, en este caso, de la industria aeronáutica en cifras, a nivel nacional e internacional, en la actualidad y proyección o metas a futuro. Se toma como base para orientar los esfuerzos hacia un fin común.

Producto o servicio: Es el resultado de la generación, aplicación y oferta de tecnologías desarrolladas, en este caso por el INM.

Tecnología: Se refiere al desarrollo / implementación de soluciones y/o propuestas tecnológicas alternativas generadas por el INM con aplicaciones en diferentes segmentos de la cadena de valor.

Programas I+D+i: Instrumentos, herramientas y/o formas de trabajo orientadas al desarrollo, fortalecimiento y consolidación de las capacidades y oferta en I+D+i.

Recursos: Insumos económicos, humanos, políticos, de infraestructura, etc., requeridos para el fomento, desarrollo y seguimiento del plan de trabajo y logro de las metas en general.

El Mapa de Ruta Tecnológico es:

- Una herramienta colaborativa desarrollada para formular, instrumentar y comunicar una estrategia centrada en la innovación y el desarrollo tecnológico.
- Un proceso de planeación que proporciona a los tomadores de decisión los medios para identificar, evaluar y seleccionar entre diversas alternativas estratégicas, las que consideren idóneas para conseguir los objetivos de negocio.
- Un proceso colaborativo diseñado para ayudar a la industria, su cadena de suministro, la academia, grupos de investigación y el gobierno a reunirse y conjuntamente identificar y priorizar las tendencias y tecnologías necesarias para soportar las decisiones de i+D, marketing e inversiones.

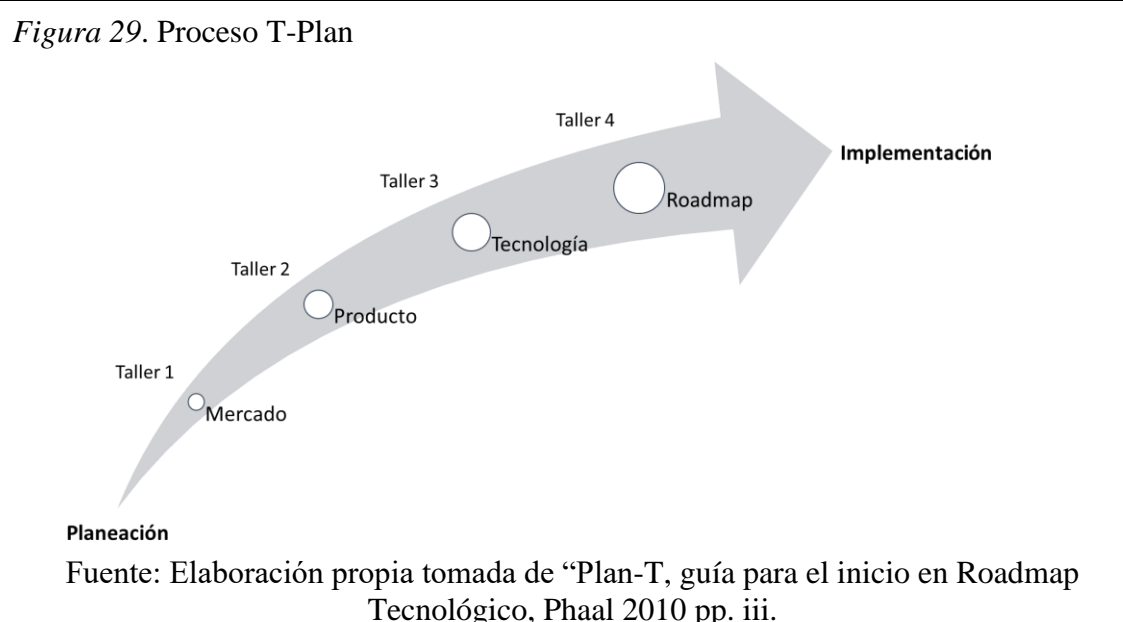
El desarrollo de la metodología de MRT propone la realización de 4 talleres (proceso T- Plan) con la participación de las funciones tecnológicas y comerciales, y se abordan de la siguiente manera:

Taller 1. Identificación del mercado y los impulsores del negocio

Taller 2. Generación de características conceptuales del producto, proceso o servicio

Taller 3. Identificación de las opciones de solución con base tecnológica

Taller 4. Mapeo de resultados, evolución del producto y la tecnología



Un elemento fundamental, a realizar en el taller 1, es la realización de análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA), con el objetivo de explorar las dimensiones estratégicas a abordar y la situación actual INM.

Algunos factores clave de éxito para su implementación son:

- Involucramiento, compromiso y guía de la alta dirección
- Datos, información y conocimiento disponible
- Necesidades y políticas claras del INM
- Visión jalada por el mercado y empujada por la tecnología

- **Cadena de valor metrológica (CVM)**

El sustento técnico a la situación actual o inventario de recursos se puede mostrar de manera resumida en una cadena de valor metrológica relacionada con la o las tecnologías y servicios a ofrecer por el INM.



Una CVM considera los siguientes elementos:

Tabla 9.

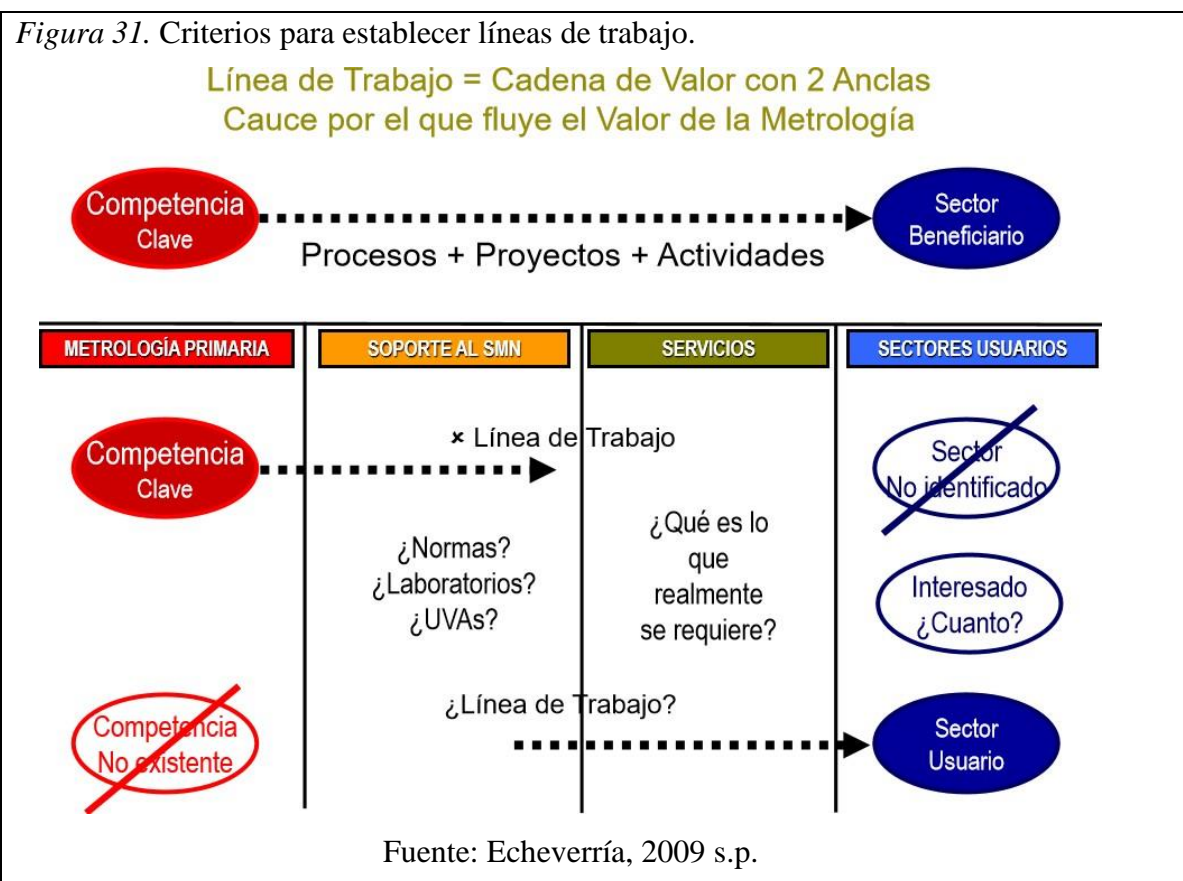
Descripción de elementos que integran la CVM

Eslabones	Descripción
Metrología primaria	Se refiere a la infraestructura científica – tecnológica y su correspondiente reconocimiento internacional que dan soporte a la confiabilidad y trazabilidad de las mediciones en el país, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> - Patrones nacionales - Sistemas de referencia - Materiales de referencia - CMC (Mejores capacidades de medición reconocidas por el BIPM) - Laboratorios nacionales e institutos designados.

<p>Soporte a la infraestructura de la calidad – Metrología, normalización, evaluación de la conformidad</p>	<p>Se refiere a las capacidades probadas del INM como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad instalada para ofrecer certeza técnica a procesos de evaluación de la conformidad • Oferta de servicios como: Ensayos de aptitud, calibraciones, pruebas, etc. • Transferencia de conocimiento • Evaluaciones y auditorías, etc.
<p>Oferta de servicios</p>	<p>Normalmente son los servicios de catálogo, sustentados por sus CMC's reconocidas por el BIPM y proyectos de desarrollo.</p>
<p>Sectores usuarios</p>	<p>Todos aquellos reciben los servicios del INM, que se traducen en un beneficio social, productivo y/o económico.</p>

Fuente: Elaboración propia, 2019

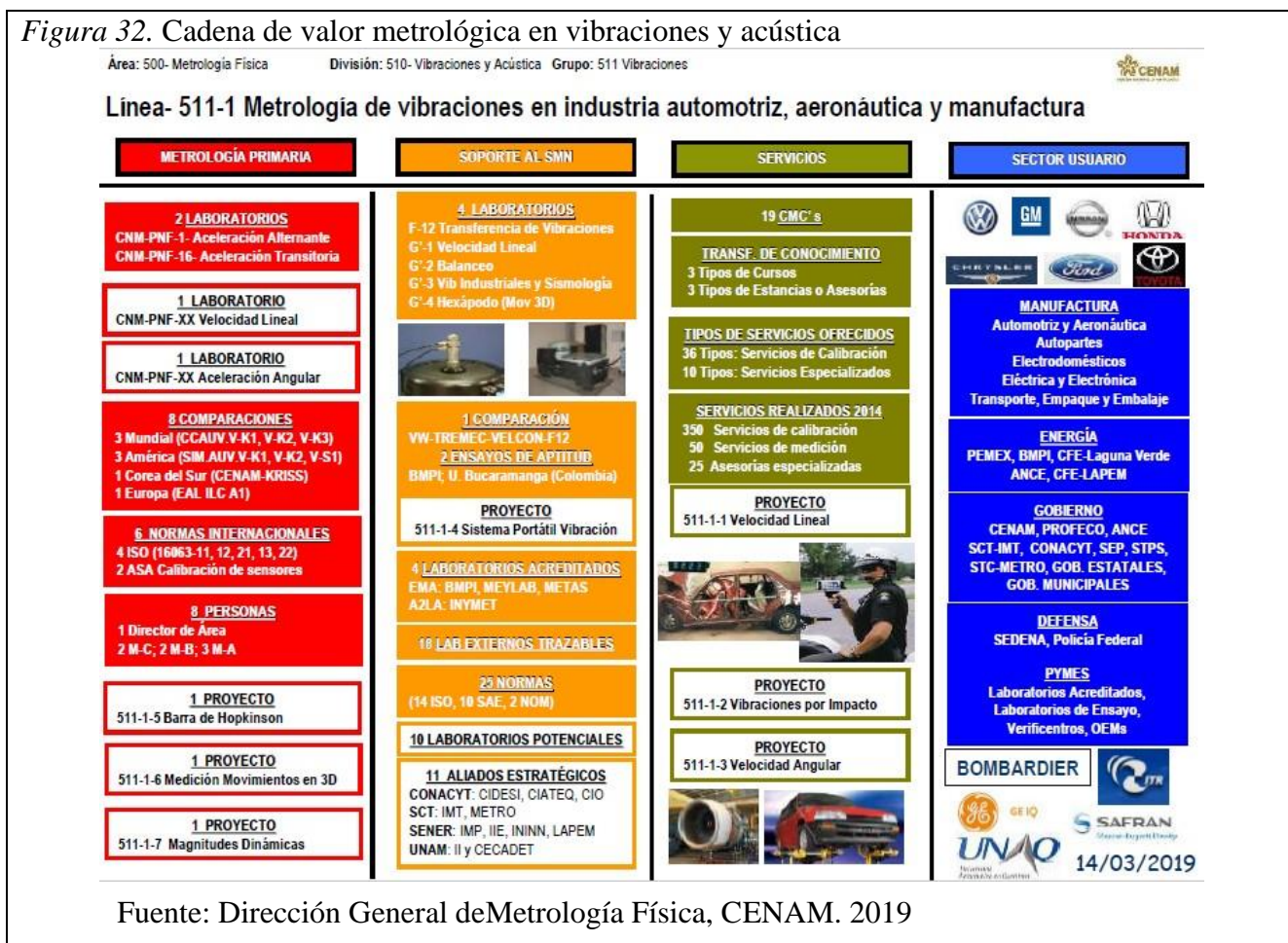
Para la elaboración del plan tecnológico del INM es indispensable tener en consideración la demanda del mercado y/o conocer la prospectiva de este. La siguiente figura muestra una manera simple para identificar y proponer líneas de trabajo, basadas en competencias clave y no existentes del INM, en las que es condición *sinequanon* la existencia de un sector beneficiario e interés de este.



Con el apoyo de las herramientas metodológicas y mediante la integración de grupos interdisciplinarios dirigidos por un coordinador de sector, en este caso el aeroespacial, trazan la hoja de ruta a seguir y de dónde se derivarán las estrategias para el acercamiento y desarrollo del plan tecnológico.

El intercambio de información de las distintas áreas del INM, complementada y sustentada con análisis prospectivos y vigilancia tecnológica, se plasma en las cadenas de valor como se muestra en el siguiente esquema desarrollado por el grupo de vibraciones y acústica del CENAM:

Figura 32. Cadena de valor metrológica en vibraciones y acústica



Descripción de la CVM previa:

Tabla 10.

Descripción de la CVM

Eslabones	Descripción
Metrología primaria	<p>Se mantienen dos patrones nacionales, i.e. de aceleración alternante y de aceleración transitoria. Se está terminando el patrón nacional de velocidad lineal. Posteriormente, se desarrollará el patrón nacional de aceleración angular.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se ha participado con éxito en 6 comparaciones internacionales. Actualmente se coordina una comparación internacional como laboratorio piloto. Se tienen 19 capacidades de medición y calibración en el BIPM. Se tienen más de 50 artículos relacionados con esta línea de trabajo. • Proyecto: Sistema para calibración de transductores de vibraciones por impacto.
Soporte a la infraestructura de la calidad – Metrología, normalización, evaluación de la conformidad	<p>Ante la falta de laboratorios acreditados en vibraciones, se atiende la demanda de sectores usuarios con 3 laboratorios, i.e. patrones de transferencia, balanceo y vibraciones estructurales.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se calibran patrones de referencia de 18 laboratorios industriales con trazabilidad a patrones nacionales (ver metrología primaria) pero sin acreditación. Se han identificado alrededor de 10 centros públicos con infraestructura en metrología de vibraciones. - Se apoyó el desarrollo de la norma NADF-004-AMBT-2005 sobre vibraciones emitidas por fuentes fijas de la Secretaría del Medio Ambiente (SMA) del Gobierno de la Ciudad de México. - Proyecto: Excitador electrodinámico para calibración de transductores de vibraciones.

Oferta de servicios	<p>Se cuenta con una cartera de 36 diferentes servicios de medición y calibración de instrumentos de vibraciones. Anualmente se ofrecen alrededor de 250 servicios a más de 65 empresas.</p> <p>Aproximadamente el 80% de los servicios van a la industria automotriz.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se ofrecen anualmente 3 cursos abiertos, así como estancias técnicas en laboratorios de metrología de vibraciones. Se ofrecen pruebas de aptitud técnica a laboratorios conforme a - NADF-004-AMBT-2005 sobre vibraciones emitidas por fuentes fijas de la SMA del GDCDMX. - Se desarrollan, con tecnología propia, sistemas de medición y calibración de transductores de vibraciones. Ya se ha adquirido un sistema para calibrar transductores de vibración por impacto.
Sectores usuarios	<p>Las armadoras automotrices, empresas del ramo aeronáutico y laboratorios secundarios demandan servicios de calibración y medición de vibraciones, velocidad lineal, velocidad angular, balanceo, ensayos, capacitación y desarrollo de proyectos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Las cifras en 2006: Las OEMs ubicadas en México ocuparon lugar 11 mundial en producción (2M). Generan 137 000 empleos directos. Ocupan el lugar 37 en retorno de inversión. - El número estimado de empresas del sector es de alrededor de 350 tier 1, 650 tier 2, 250 tier 3 y 700 pymes.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Como se puede observar en la figura 32, la cartera o portafolio de proyectos tecnológicos se integra de cada eslabón de la cadena y atiende, en este caso, las necesidades de diversos usuarios o beneficiarios, particularmente vinculados con la manufactura y metalmecánica, en los que se considera el sector aeroespacial.

- **Vigilancia tecnológica**

Es importante considerar de manera sistemática la generación de propiedad intelectual a nivel mundial en cada una de las áreas de interés, e implementar,

particularmente en países de Latinoamérica y el caribe, estrategias de apropiación y asimilación del conocimiento y de tecnologías pertinentes a sus necesidades y retos científicos, tecnológicos, productivos y sociales.

La innovación abierta es una alternativa que debe ser explotada de manera efectiva y eficiente, traduciendo el conocimiento científico y tecnológico en beneficios para la sociedad, la prosperidad y la economía de los países.

- **Habilitar**

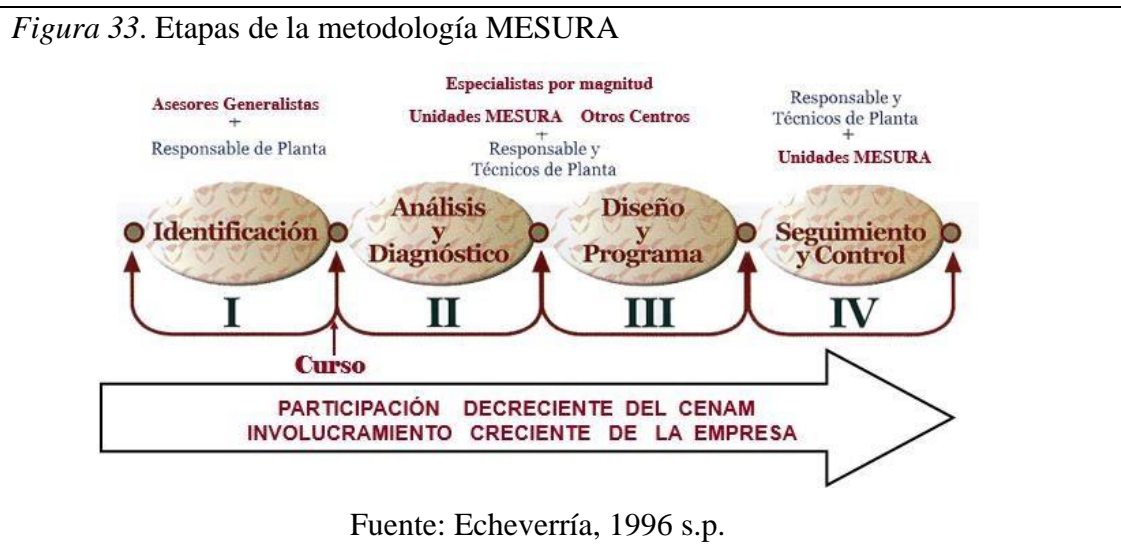
Los institutos nacionales de metrología de Latinoamérica en general son usuarios de tecnología desarrollada en países como Alemania, Estados Unidos, Reino Unido, Japón, entre otros. En el caso de México, el CENAM cuenta con algunos desarrollos y mejoras desistemas de medición de transferencia, cuyo uso y aplicación es interno.

Los proyectos de desarrollo tecnológico internos, que contribuyen a mejorar y/o ampliar las capacidades de medición del INM, en el caso de México, se ha realizado mediante la integración de un grupo de especialistas expertos denominado Comité Técnico Consultivo (CTC). Este grupo plantea las diversas necesidades de sus áreas de conocimiento y, mediante una evaluación de pertinencia y factibilidad, determina la cartera de proyectos a desarrollar, cuyo financiamiento depende totalmente de recursos fiscales del INM. De manera complementaria, existe un grupo de líderes de proyectos y gestores tecnológicos, que se describe más adelante, que se encarga de prospectar, negociar y llevar a cabo proyectos con inversión directa de las empresas interesadas.

La transferencia de conocimientos se ofrece primordialmente mediante cursos y estadías de entrenamiento a laboratorios secundarios nacionales e institutos nacionales de metrología de la región del Sistema Interamericano de Metrología (SIM).

En el ámbito de la metrología industrial, el CENAM, mediante la metodología MESURA, mantiene su oferta tecnológica a los sectores productivos de manera integral con el objeto de apoyar y brindar soporte estratégico y tecnológico a nivel productivo industrial, laboratorios secundarios de calibración y de ensayos e institutos nacionales de metrología.

La metodología MESURA se desarrolla mediante un proceso de 4 etapas como lo muestra el siguiente esquema:



Descripción de las etapas

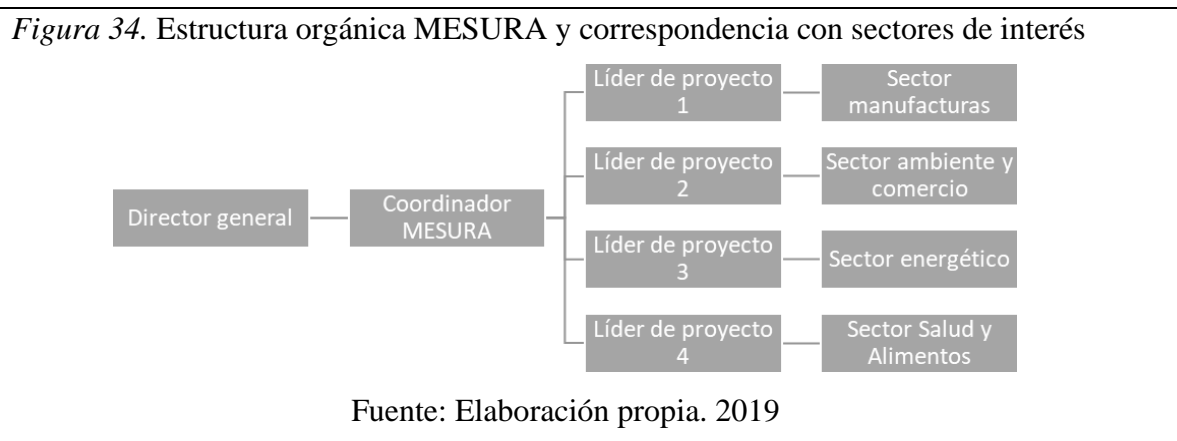
Etapa I. Identificar las necesidades metrológicas y conocer las características de los recursos metrológicos para tener información que servirá de base para elaborar el análisis y diagnóstico posterior del sistema metrológico de la empresa.

Etapa II. Realizar un diagnóstico especializado por magnitud y registrar toda la información necesaria que permita realizar una evaluación de los recursos metrológicos (instrumentos, personal y procedimientos) contra las necesidades metrológicas de la empresa.

Etapa III. Diseñar la estructura óptima del sistema metrológico de la empresa o laboratorio, como resultado de este diseño se generan los siguientes programas de: Mantenimiento metrológico de instrumentos y patrones, capacitación y actualización del personal que realiza actividades metrológicas y generación y actualización de procedimientos.

Etapa IV. Apoyar a la empresa o laboratorio en la realización de actividades recomendadas y proporcionar ayuda para el seguimiento de estas.

La metodología MESURA es llevada por un área staff de la dirección general, que se integra por un coordinador y líderes de proyectos generalistas, asignados a diferentes sectores productivos, como se muestra en el siguiente esquema:



Entre sus funciones, los líderes de proyecto, se encargan de mantener contacto permanente con los actores clave de su sector, mantenerse actualizados de la situación actual, retos y tendencias, promover la oferta tecnológica, negociar y coordinar proyectos. El CENAM se apoya de este grupo para atraer proyectos con la industria, academia, centros de investigación y gobiernos estatales y/o municipales, entre otros.

La aplicación de la metodología MESURA en la industria se traduce en proyectos multidisciplinarios de desarrollo tecnológico, que resultan en soluciones metrológicas de aplicación industrial.

- **Financiamiento**

El financiamiento para el desarrollo de proyectos y servicios en la mayoría de los clientes nacionales proviene de estos, y en algunos casos de fondos de gobierno federal, estatal o municipal y por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México.

En el caso de proyectos internacionales, se financian directamente por la parte beneficiaria, y, en algunos casos, mediante cooperación técnica internacional que suscriben los países de la región, con el apoyo del SIM, la Organización de Estados Americanos (OEA), el Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) o institutos nacionales de metrología como el PTB o el NIST, principalmente.

- **Proteger**

El conocimiento científico y los desarrollos tecnológicos aplicados en el campo de la metrología científica generalmente surgen de países con economías potentes, ya que la inversión es considerable, y en algunos casos aún es necesario recurrir al financiamiento – fondeo de programas internacionales como el Horizonte 2020, con su capítulo europeo de metrología llamado: “*European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR)*).

“El Programa Europeo de Metrología para la Innovación y la Investigación (EMPIR) coordina proyectos de investigación para abordar grandes desafíos, al tiempo que apoya y desarrolla el sistema SI de unidades de medida. Hay un mayor enfoque dentro de EMPIR en actividades de innovación para apuntar a las necesidades de la industria y acelerar la adopción de los resultados de la investigación. Los proyectos de desarrollo de capacidades de los programas tienen como objetivo cerrar la brecha entre los estados miembros de la Unión Europea con sistemas de medición emergentes y aquellos con capacidades más desarrolladas.

El programa EMPIR permite que los institutos europeos de metrología, las

organizaciones industriales y médicas y la academia colaboren en una amplia variedad de proyectos de investigación conjunta dentro de campos específicos: industria, energía, medio ambiente, salud, SI Fundamental, Normativo, Potencial de Investigación y Apoyo a Redes y Apoyo a proyectos de impacto. Las convocatorias anuales de investigación EMPIR entre 2014 y 2020 están respaldadas por 600 millones de euros de financiación de la Unión Europea que permiten la investigación de proyectos durante un máximo de 3 años (5 años para Apoyo a Redes).

Fuente: EURMET, 2019.

Ante los retos y problemas de la región SIM, es pertinente promover la creación de un fondo parecido al EMPIR que promueva el desarrollo de proyectos de investigación aplicada que contribuyan a la solución de los grandes problemas regionales, alineados con el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU.

- **Implantar**

Una vez que se cuenta con los elementos previos, la aplicación práctica se debe llevar a cabo mediante el acercamiento permanente con las partes interesadas, incentivando y creando la necesidad de medir adecuadamente en los ámbitos de su conocimiento y aplicación.

La oferta tecnológica y de servicios de los INM debe difundirse de manera intensiva y dirigirse a clientes y usuarios potenciales. Asimismo, se debe mantener una estrecha comunicación y buena relación con las fuentes de recursos gubernamentales que garanticen la suficiencia de recursos presupuestales para el logro de los objetivos.

Los productos o servicios derivados de la aplicación de planes tecnológicos podrán ser registrados como propiedad intelectual y publicarlos de ser factible.

- **Cartera de proyectos tecnológicos**

El siguiente ejercicio de cartera de proyectos tiene como propósito desarrollar capital intelectual, infraestructura e implementar ‘nuevos’ servicios tecnológicos que sean un soporte metrológico para el sector manufacturas en general en atención de temas de

vanguardia como la economía circular, la electromovilidad, la transformación digital, entre otras.

Ejemplo en manufacturas:

- Metrología química para economía circular en plásticos (elementos biodegradables, reciclables y microplásticos) para generar confianza en la contribución al cambio climático, fortalecimiento de PyMEs y la economía de comunidades locales.
- Desarrollo de referencias en arcillas de litio para baterías eléctricas. Para el desarrollo de la cadena de valor del Litio y tierras raras para la electromovilidad, almacenamiento de energía fotovoltaica y otras aplicaciones que favorecerán la economía del país y la protección al medio ambiente.
- Fortalecimiento de la Infraestructura de sincronía nacional para la implementación de redes 5G, IoT entre otras para comercio electrónico, blockchain, economía digital, ciber seguridad, vehículos autónomos, soberanía en telecomunicaciones.
- Fortalecimiento de las comunicaciones en radiofrecuencias de 1 GHz a 40 GHz para Telecomunicaciones, Electromovilidad, Vehículos Autónomos.
- Digitalización de la metrología de la infraestructura para la calidad, industria 4.0, etc. Para incremento de productividad, competitividad e integración en cadenas globales de Valor en sectores como Automotriz, aeronáutico, eléctrico, electrónico, semiconductores y sensores.
- Establecimiento de referencias nacionales en patrones de medición, componentes y sistemas de medición dinámica para habilitar a las empresas en procesos de innovación, desarrollo tecnológico, diseño, ingeniería y producción en electromovilidad, dispositivos médicos y otras manufacturas.

En la siguiente tabla se enlistan, a manera de ejemplo, una serie de temas de la competencia del CENAM de interés para la industria aeroespacial con su respectivo nivel de prioridad requerido.

Tabla 11.

Proyectos CENAM de aplicaciones aeronáuticas

Proyectos CENAM	Aplicación aeronáutica	Plazo requerido
Macro-metrología dimensional	MNF – MRO	Corto – mediano
Magnitudes dinámicas	MNF – MRO – I+D	Corto – mediano
Rugosímetro	MNF – MRO	Corto – mediano
Materiales compuestos	MNF + MRO	Corto - mediano
MEMS	I+D	Mediano – largo
Nanometrología dimensional, física y química para nanotecnologías	I+D	Mediano - largo
Metrología para telecomunicaciones en radiofrecuencias	MNF – I+D	Mediano – largo
Fibras ópticas	I+D	Mediano – largo
Normatividad aeronáutica	MNF - MRO	Corto
Ruido	MNF – I+D	Mediano - largo
Biocombustibles	MNF - I+D	Mediano – largo
<i>Electromagnetismo en materiales *</i>	MNF – MRO – I+D	Corto - mediano
<i>Conductividad térmica en altas temperaturas *</i>	MNF – MRO – I+D	Corto - Mediano

Fuente: Elaboración propia, 2019

Algunos resultados y beneficios de planes tecnológicos en los INMs:

- Desarrollo de carteras de proyectos que atienden necesidades y/o retos presentes y futuros.
- Mejor aprovechamiento de recursos materiales, humanos, financieros, etc.
- Herramienta útil para la gestión eficiente de recursos y proyectos.
- Articulación de iniciativas y proyectos mediante una visión sistémica.
- Mejor sustento a requerimientos de infraestructura, equipamiento, etc. ante autoridades.

Conclusiones

La generación de un plan tecnológico que considere los elementos y herramientas descritas en este trabajo pueden servir de guía para establecer las estrategias y acciones puntuales a seguir de manera continua e independiente de los cambios constantes de administración de los INMs.

El seguimiento y la actualización permanente son factores clave para el logro de los objetivos y misión de cada INM. De igual forma, un plan tecnológico contribuye al sólido fortalecimiento y presencia de los INM en sus ámbitos de acción.

La permanente vigilancia y prospectiva tecnológica en las diversas temáticas de interés de los INMs y de los sectores productivos, son la base para el desarrollo pertinente y útil de planes tecnológicos que contribuyan al progreso y prosperidad de los países.

Considerando que la gran mayoría de los INM operan con recursos del estado, es importante buscar fuentes y/o medios complementarios de financiamiento que contribuyan al desarrollo científico y técnico de los institutos.

De igual manera deben existir o facilitar los medios para la gestión y uso de recursos derivados de financiamientos privados, considerando en todo momento las leyes de transparencia y sostenibilidad.

La constante evolución de los sistemas administrativos y productivos, en dónde las tecnologías desempeñan un rol preponderante, exige a los INM responder con versatilidad, oportunidad y pertinencia, ante los desafíos presentes y futuros.

Con base en el trabajo desarrollado, es evidente que se cumplen los objetivos y se comprueban las hipótesis inicialmente planteadas.

Referencias

- Alcantar, J. (2001). Análisis estratégico con inteligencia competitiva. *Taller ADIAT*, México: ADIAT.
- Ashton, B. W. y Klavans, R. A. (1997). *Keeping abreast of science and technology*. Columbus OH,:Battelle Press Edit.
- Breakspear, A., (2000) *Competitive Business Intelligence*, Taller, Carleton University, México, D.F.
- Bureau international des poids et mesures (2019), “*The international system of units*”, 9a. Edición, Sèvres, Francia, BIPM.
- Castaño, Roberto. (2015). *El libro de los pesos y medidas*. Madrid, España, La esfera de los libros.
- Castellanos, Oscar (2007), *Gestión tecnológica: De un enfoque tradicional a la inteligencia*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D. C. - Colombia.
- Chiavenato I. (2004) *Introducción a la Teoría General de la Administración*. (7ª edición) México: McGraw Hill.
México. Séptima edición.
- Corona, Leonel (2002), *Teorías económicas de la innovación tecnológica*, México, Instituto Politécnico Nacional.
- <https://economipedia.com/definiciones/> (2020)
- Erosa, V. y Arroyo P.(2007), *Administración de la tecnología, Nuevas fuentes de creación de valor para las organizaciones*, México, Limusa.
- Escorsa, P. y Valls, J. (1997). *Tecnología e innovación en la empresa*. Barcelona, España: EdicionesUPC.
- Escorsa, P. (2007). *La inteligencia competitiva: factor clave para la toma de decisiones estratégicas en las organizaciones*. Comunidad de Madrid, Consejería de Educación, Madrid, España.
- Etzkowitz, H. (2008) *The Triple Helix, University – Industry – Government. Innovation in action*, , Londres, Routledge Ed.
- Fundación Premio Nacional de Tecnología e Innovación, A. C., “*Premio Nacional de Tecnología e Innovación*”,

- Foro Consultivo Científico y Tecnológico (2006). *Conocimiento e innovación en México: hacia una política de Estado. Elementos para el Plan Nacional de Desarrollo y el Programa de Gobierno 2006-2012*. D. F. México: FCCYT
- García, V.; Vera, H. (2011) *Metros, lenguas y mecates. Historia de los sistemas de medición en México*. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores de Antropología Social – Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, México.
- Godet M. (2007) *Prospectiva Estratégica: problemas y métodos*, París, Francia, Cuadernos de Lipsor.
- Hernández, R.; Fernández-Collado, C.; Baptista, P. (2010) *Metodología de la investigación*, México, Mc Graw-Hill Interamericana Editores.
- Herring, J.P., (2001) *What is Intelligence Analysis*, Competitive Intelligence Magazine, i(2), Sao Paolo, Brasil, Scientific Electronic Library Online,
- Kellermann, Martin. 2019. *Ensuring Quality to Gain Access to Global Markets: A Reform Toolkit. International Development in Practice*. Washington, DC: World Bank; Braunschweig, Germany: Physikalisch-Technische Bundesanstalt. doi:10.1596/978-1-4648-1372-6 License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO
- Medina, J.; Ortigón, E. (2006). *Manual de prospectiva y decisión estratégica: bases teóricas e instrumentos para América Latina y el Caribe*. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social y CEPAL, Naciones Unidas. Santiago de Chile ISBN: 91-1- 322884-8. Septiembre,
- Morcillo, P. (2003) *Vigilancia e inteligencia competitiva: fundamentos e implicaciones*. *Revista de Investigación en Gestión de la Innovación y Tecnología -Vigilancia Tecnológica*, Número 17, junio - julio.
- Orozco Silva, E. (2004). *La inteligencia empresarial como herramienta de la innovación*. La Habana, Cuba.
- Palop, F.; Vicente, J. M. (199) *Vigilancia tecnológica e Inteligencia competitiva*. Su potencial para la empresa española. Madrid, España, Pearson Educación S.A., p. 16.
- Phaal, Robert. (2009), *Technology Roadmapping*

Pyndick, R; Rubinfeld, D. (2009), *Microeconomía*, Madrid, España. Pearson Educación, S.

A

Ramos, N. (2014), *Gestión tecnología e innovación*, Pearson, UAQ, Querétaro, México.

Romero, R.; Pastrana, A. (201x), *Investigación aplicada sobre gestión de tecnología*, Pearson, UAQ, Querétaro, México.

Solleiro, J.; Teran, A. (2012), *Buenas prácticas de gestión de la innovación en centros de investigación tecnológica*, México, D. F., Ed. Coordinación de Innovación y Desarrollo de la UNAM. Instituto de Investigaciones Eléctricas y Universidad Nacional Autónoma de México.

Taylor, F. (1979). *Principios de la Administración Científica*, traducida al español por Editorial Ateneo, Buenos Aires.

UNE 166000 EX. (2006) *Gestión de la I+D+I: Terminología y definiciones de las actividades de I+D+I*. Norma española experimental. AENOR, Madrid, España.

UNE 166006. (2011) *Gestión de la I+D+I: Sistema de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva*. Madrid, España, AENOR,.

UNIDO. (2015), “*The role of metrology in the context of the 2030 sustainable development goals*”, Vienna Austria, Vienna International Centre,.

APENDICE A
SIGLAS Y ABREVIATURAS

BIPM	Buró Internacional de Pesas y Medidas
CENAM	Centro Nacional de Metrología
CVM	Cadena de Valor Metrológica
FEMIA	Federación Mexicana de la Industria Aeroespacial
IC	Infraestructura de la Calidad
INM	Instituto Nacional de Metrología
LIC	Ley de Infraestructura de la Calidad
MNA	Metrología – Normalización - Acreditación
MNGT	Modelo Nacional de Gestión de la Tecnología
MRT	Mapa de Ruta Tecnológico
PNTI	Premio Nacional de Tecnología e Innovación - México
SI	Sistema Internacional de Unidades
SIM	Sistema Interamericano de Metrología
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OEM	Fabricante de equipo original
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
TRL	Technology Readiness Level
VIM	Vocabulario Internacional de Metrología