



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE SISTEMAS - INNOVACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE LA  
TECNOLOGÍA

IDENTIFICACIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS METROLÓGICAS EN UN  
CENTRO PÚBLICO DE INVESTIGACIÓN: UN ENFOQUE DESDE LA  
REVISIÓN POR LA DIRECCIÓN

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
**MAESTRO EN INGENIERÍA**

P R E S E N T A:  
ING. ENRIQUE OVANDO YSHIKAUA

TUTOR:  
DR. ALEJANDRO BARRAGÁN OCAÑA  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

MÉXICO, D.F. JUNIO DE 2013



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: DRA. OLVERA TREVIÑO MARÍA DE LOS ÁNGELES

Secretario: M. C. ALPÍZAR RAMOS MARÍA DEL SOCORRO

Vocal: DR. SÁMANO CASTILLO JOSÉ SABINO

1er. Suplente: DRA. LARA ZAVALA NYDIA GUADALUPE

2do. Suplente: DR. BARRAGÁN OCAÑA ALEJANDRO

Lugar donde se realizó la tesis: Facultad de Química, UNAM.

**TUTOR DE TESIS:**

DR. ALEJANDRO BARRAGÁN OCAÑA

---

**FIRMA**

*"La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar"*

*Thomas Chalmers.*

### **Dedicatorias:**

- ❖ *A Nieves, mi esposa, por ser el pilar más importante de la familia, demostrándome siempre su amor, cariño, apoyo, comprensión y por compartir conmigo buenos y malos momentos.*
- ❖ *A mis hijos y nietos, quienes siempre han sido el eje de inspiración para superarme y luchar por mis ideales.*
- ❖ *A mi madre, por su apoyo, consejos, comprensión y por haberme enseñado valores, principios, empeño, y perseverancia para conseguir mis objetivos.*
- ❖ *A mi suegra, por ser una gran persona que siempre me ha demostrado su cariño y apoyo.*
- ❖ *A la memoria de mi padre, de mi suegro y de mi hermano César quienes, con su ejemplo de trabajo, dedicación y estudio, motivaron mi superación; siento que siempre están conmigo.*
- ❖ *A mi familia en general, porque siempre me han brindado su apoyo incondicional.*

## **Agradecimientos:**

- ❖ *A la Facultad de Química de la UNAM, por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de continuar mi preparación al cursar estudios de maestría.*
- ❖ *A mi tutor, Dr. Alejandro Barragán Ocaña quien, con mucha paciencia y dedicación, me ha apoyado para concluir este trabajo, gracias por sus enseñanzas y hacerme ver que las cosas no son tan difíciles como a veces uno cree. Porque ha sido un ejemplo de constancia y trabajo intenso, como mi asesor y amigo; me ha instruido y ayudado para conseguir la meta deseada.*
- ❖ *A la Dra. María de los Ángeles Olvera Treviño, por sus consejos y apoyo brindado.*
- ❖ *A la Dra. Rocío Cassaigne Hernández por la confianza y apoyo que siempre me brindó para cursar la maestría.*

## CONTENIDO

	Página
Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
Justificación	14
<b>Capítulo I: Marco Contextual</b>	
1.1 Ciencia y Tecnología	15
1.2 Centros Públicos de Investigación y Desarrollo	16
1.3 Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)	23
1.4 Laboratorios de investigación del IMP	25
<b>Capítulo II: Marco teórico y conceptual</b>	
2.1 El uso de la metrología	27
2.2 Actividades de metrología en los CPI	30
2.3 Buenas prácticas metrológicas en laboratorios de investigación y desarrollo	31
2.4 Revisión por la Dirección	34
<b>Capítulo III: Marco Metodológico</b>	
Hipótesis	36
Objetivo general	36
Objetivos específicos	36
3.1 Abordaje metodológico	37

	Página
<b>Capítulo IV: Análisis de resultados</b>	
4.1 Resultados de las entrevistas	39
4.2 Análisis de resultados de las entrevistas y cuestionarios para identificar buenas prácticas metrológicas	41
4.3 Resultados de las entrevistas para identificar las acciones que se realizan como apoyo a la implementación de buenas prácticas metrológicas en las reuniones de revisión por la dirección	42
4.4 Resultados de la aplicación de la encuesta para la identificación de buenas prácticas metrológicas	43
4.5 Validación de los resultados a través del panel de expertos	48
Discusión y conclusiones	50
Bibliografía	52
Anexo 1 Formato de entrevista y cuestionarios	57
Anexo 2 Glosario de términos en metrología	61
Anexo 3 Centros Públicos de Investigación	67

<b>Lista de tablas</b>		<b>Página</b>
Tabla 1	Indicadores de inversión en ciencia, tecnología e innovación	21
Tabla 2	Laboratorios de investigación del IMP	26
Tabla 3	Uso de buenas prácticas metrológicas en los laboratorios estudiados	43
Tabla 4	Apoyo de la dirección en la implementación de buenas prácticas en los laboratorios estudiados	47
Tabla 5	Centros Públicos de Investigación CONACYT	67
Tabla 6	Centros Públicos de Investigación SENER	73
Tabla 7	Centros Públicos de Investigación del IPN	75
Tabla 8	Centros Públicos de Investigación de la UNAM	79
Tabla 9	Centros Públicos de Investigación de la Secretaría de Salud	83

<b>Lista de gráficas</b>		<b>Página</b>
Gráfica 1	Frecuencia del uso de buenas prácticas metrológicas en los laboratorios estudiados	45
Gráfica 2	Frecuencia de acciones de apoyo por parte de la dirección para la implementación de buenas prácticas metrológicas	46

<b>Lista de figuras</b>		<b>Página</b>
Figura 1	Fuentes de incertidumbre	62
Figura 2	Carta de Trazabilidad metrológica	65

## Resumen

El aseguramiento de la calidad de las mediciones, en los laboratorios de Centros Públicos de Investigación (CPI), es fundamental para garantizar que los resultados de las investigaciones, desarrollos tecnológicos e innovaciones que ahí se producen cumplan con las normas, requerimientos o expectativas del cliente y puedan ser transferidos y escalados a nivel industrial, con la confianza en que funcionarán adecuadamente. En este trabajo se presentan los resultados del empleo de una metodología para la identificación de buenas prácticas metrológicas en un CPI, con un enfoque desde la revisión por la dirección. El cual toma como base el análisis de la normativa, nacional e internacional; además, en este trabajo se considera la información extraída de la revisión bibliohemerográfica disponible para este tema y de la propia experiencia profesional. En esta metodología se utilizó una guía de entrevista y un cuestionario basado en una escala tipo Likert que nos permitió identificar las mejores prácticas metrológicas llevadas a cabo por un CPI con un enfoque desde la revisión por la dirección en 15 laboratorios. Dichos instrumentos se validaron por un panel de expertos y se generaron algunas recomendaciones para su correcta implementación. Los resultados finales de este estudio exploratorio, muestran información que, en caso de aplicarse a una muestra mayor, podrán ser extrapolados hacia otros CPI.

## Palabras clave

Metrología. Calidad de las mediciones. Centro Público de Investigación. Buenas prácticas metrológicas. Revisión por la Dirección.

## **Abstract**

The assurance of the measures quality into the laboratories of the Public Research Centers it's fundamental in order to guarantee that the results of the investigations, technological developments and innovations which are produced there, accomplish the standards, requirements or expectations from the customer and can be transfered and escalated to an industrial level, with confidence that it might effectively work. In this paper the results of the usage of a methodology to identify the best metrological practices within a CPI with a focus from the management review are presented. The same takes as basis the national and international standard analysis; besides, in this paper the extracted information from the bibliographic and hemerographic review for this topic such as the personal professional experience are considered as well. In this methodology and interview guide and a Likert scale based questionnaire which allowed us to identify the best metrological practices carrying out by a CPI with a focus from the management review in 15 laboratories. Such instruments were validated for an expert panel and some recommendations were suggested for its correct implementation. The final results of this exploratory study, show some information which in case of being apply on a bigger scale, might be extrapolated towards other CPI.

## **Key Words**

Metrology. Measurements. Quality. Public Research Center. Best Metrological Practices. Management Review.

## Introducción

La metrología o ciencia de las mediciones garantiza la exactitud y confiabilidad de las mediciones, asociadas a la estimación de una incertidumbre apropiada que coadyuve a garantizar las características de calidad de los productos industriales, procesos de investigación y ensayos. En pocos años, de acuerdo con la tendencia mundial, no sobrevivirán las empresas que no tengan sistemas de gestión de la calidad certificados, con orientación a la investigación, desarrollo tecnológico e innovación, sustentados en conocimientos científicos–técnicos que se apoyen estrechamente en actividades metrológicas.

La metrología es uno de los pilares fundamentales del mejoramiento de la calidad y del desarrollo científico y tecnológico de un país, ya que su aplicación en los procesos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación de nuevos productos y servicios apoya al aseguramiento de la calidad de los resultados y al cumplimiento de los requisitos establecidos en normas técnicas o especificaciones dadas por el cliente. Nuestro país requiere de la metrología, no solamente desde el punto de vista industrial, en la fabricación de productos, sino también, para satisfacer necesidades de investigación, desarrollo tecnológico y servicios técnicos especializados en el campo de la exploración, explotación, procesamiento, transporte y comercialización de los hidrocarburos, la salud y el medio ambiente, entre otros.

Una correcta administración y aplicación de buenas prácticas metrológicas asegura que los equipos, instrumentos, procedimientos de medición, instalaciones y personal calificado sean los adecuados para asegurar la calidad de las mediciones y, por lo tanto, contribuyan al logro de los objetivos de las investigaciones que ahí se realicen, así como administrar y controlar el riesgo de resultados con mediciones incorrectas.

En este sentido, los centros públicos de investigación (CPI) son el principal soporte tecnológico que tiene el gobierno federal para apoyar el crecimiento industrial, por lo que la identificación y uso de buenas prácticas metrológicas, garantiza la calidad y confiabilidad de sus mediciones y, por consiguiente, se incrementa la calidad en el resultado de las investigaciones, al disminuir el riesgo de fallas al momento de su escalamiento a nivel industrial, abatiendo con ello los costos de operación. Asegurar la calidad de las mediciones resulta primordial para los laboratorios de los CPI porque en ellos se generan las investigaciones y ensayos que favorecerán innovaciones y nuevos productos que la industria necesita para competir y crecer en un mercado cada día más complejo.

Como punto de partida, para el desarrollo de este trabajo se emplea como referencia la norma NMX-CC-10012-IMNC-2004 “Sistema de gestión de las mediciones-Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición”, en ella se especifican los detalles que facilitan el cumplimiento de los requisitos técnicos asociados para las mediciones de los laboratorios que desean acreditar sus pruebas con base en la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”; además de aquellos procesos que requieran certificación con base en la norma NMX-CC-9001-IMNC:2008 “Sistemas de gestión de la calidad-Requisitos”, pero sobre todo para los laboratorios de CPI que quieran asegurar la calidad de sus mediciones.

Se destaca la importancia que tiene la trazabilidad metrológica y la incertidumbre de medida, como los parámetros sustanciales para garantizar la calidad y confiabilidad de las mediciones y generar un proceso de mejora continua. En México existe una cantidad importante de empresas, cada una organizada en áreas de producción, operación, calidad, etcétera; dentro del área de calidad, normalmente existe un grupo *ad hoc* encargado de garantizar la aplicación de ésta. En otros casos la calidad se supervisa por miembros de toda la organización.

La calidad de los resultados que generan los laboratorios de CPI ha ido adquiriendo importancia, porque cada día los consumidores exigen una calidad certificada que, necesariamente, se logra mediante pruebas de laboratorios que empleen las buenas prácticas metrológicas. Dentro de las actividades que se desarrollan en los laboratorios se pueden citar los siguientes ejemplos:

- Análisis de materia prima
- Análisis de productos en proceso
- Investigación de nuevos productos
- Investigación de nuevos procesos
- Análisis de producto terminado
- Innovación

Dada la importancia que han ido teniendo los servicios que proporcionan los laboratorios, los países en vías de desarrollo están implementando sistemas de calidad basados en normas internacionales, tales como las normas de la serie ISO. La apertura comercial ha colocado a la industria nacional ante un gran reto: hacer más competitivos sus productos y servicios, tanto en calidad como en precio y oportunidad, para competir eficazmente. En la apertura comercial es necesario tener una industria nacional sólida, eficiente y competitiva, que propicie tanto la investigación y desarrollo tecnológico, como la innovación y fabricación de productos y servicios con altos niveles de calidad y competitividad, en la búsqueda permanente de formas para mejorarla; lo que se consigue a través de estrategias comerciales basadas en la normalización, ensayos, aplicación de la metrología y sistemas de gestión de la calidad que coadyuven a consolidar un proceso de mejora continua.

En este trabajo se propone una metodología que contempla los requisitos, actividades, directrices, implantación y administración que deben implementar los

Centros Públicos de Investigación (CPI), que lleven a cabo procesos de medición para identificar las buenas prácticas metrológicas con un enfoque desde la revisión por la dirección. A partir de ello, voy a proponer acciones para mejorar las actividades relacionadas con el proceso de medición y garantizar con esto la calidad de los resultados de sus investigaciones, desarrollos tecnológicos e innovaciones.

## Justificación

La importancia del uso de la metrología radica en que tanto los Centros Públicos de Investigación (CPI), fabricantes y consumidores necesitan saber con suficiente exactitud cuál es el resultado de sus investigaciones, el contenido exacto de un determinado producto, si cumplen o no con las especificaciones de normas o requisitos del cliente. De esta manera, se debe contar con instrumentos de medida calibrados y de la clase de exactitud adecuada (balanzas, termómetros, reglas, pesas, manómetros, recipientes volumétricos, etc.), para obtener mediciones confiables y garantizar los resultados en los procesos de investigación, fabricación y uso de un producto.

El personal que se dedica a la investigación, en cualquier rama de la ciencia y la tecnología en un CPI, generalmente están inmersos en el desarrollo de sus proyectos que no toman en cuenta, o dan muy poca importancia, a la aplicación de la metrología y a las buenas prácticas metrológicas para realizar mediciones confiables que le den mejores expectativas en los resultados de su investigación.

De esta manera, el objetivo principal de este trabajo de investigación consiste en identificar si existen buenas prácticas metrológicas que los CPI llevan a cabo dentro de sus laboratorios; además de proponer acciones que coadyuven a la implementación de éstas. En el contexto de la metrología, las buenas prácticas se pueden definir como: experiencias exitosas y concretas de carácter técnico que contribuyen, facilitan y aseguran la emisión de datos técnicamente válidos en las mediciones que realizan los laboratorios de CPI. Con ello, se pretende mejorar la calidad de los resultados de sus investigaciones para cumplir con los requisitos del cliente o especificaciones de normas y asegurar la implementación de éstas a nivel industrial.

## Capítulo I. Marco Contextual

### 1.1 Ciencia y Tecnología

La importancia que tiene el desarrollo de la ciencia y la tecnología, en el contexto nacional e internacional, resulta innegable; su generación representa la base del crecimiento de las naciones más avanzadas. En el caso de los países en vías de desarrollo, su avance depende directamente del escaso impulso y apoyo a la ciencia y a la tecnología que los gobiernos otorgan a su población para incluirlos en este modelo de desarrollo. Esta situación conlleva un avance lento y moderado; a diferencia de los países desarrollados que han logrado comprender que, a mayor inversión en ciencia y tecnología, existe mayor impulso y modernización de la producción y mayor competitividad de las industrias, hecho indispensable para el crecimiento de los países y el bienestar social y económico de su población.

En este sentido, la competitividad es entendida como el conjunto de factores con los que cuenta un país para producir los bienes y servicios, demandados por la sociedad y que deben cumplir con estándares internacionales. La globalización de los mercados ha traído consigo el aumento en la competitividad de las naciones, así como la necesidad de generar nuevas tecnologías que complementen y sustituyan a las anteriores.

Martínez (2008), menciona a la ciencia y la tecnología como una herramienta para la construcción de sociedades más modernas e incluyentes. Para lo cual, el fortalecimiento de la investigación científica y la innovación tecnológica resultan indispensables al momento de plantear el crecimiento y la competitividad de la industria. Una forma de evitar el estancamiento, tanto económico como social y estar en posibilidades de mejorar el bienestar nacional, es haciendo mejoras sustantivas en la calidad de la educación que se imparte en el país, en todos los niveles, para formar personal calificado que se pueda desempeñar en cualquier

sector de la economía; es decir, basar el desarrollo del país en la educación, como lo hacen los países más avanzados (Álvarez, 2009).

Existen organizaciones internacionales que han estudiado la problemática educativa que enfrentan muchos países en vías de desarrollo; algunas otorgan financiamiento para proyectos educativos de esos países y otras únicamente realizan estudios y emiten recomendaciones, entre las cuales se encuentran (Maldonado, 1997):

- El Banco Mundial (BM).
- La Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO).
- La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).
- El Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Comisión Económica para América Latina (CEPAL).

## **1.2 Centros Públicos de Investigación y Desarrollo**

El conocimiento y capital intelectual (CI) constituyen recursos estratégicos desde tiempos remotos. Estos representaban una manera de incrementar la forma de poder dentro de diversas culturas. Sin embargo, no es sino hasta el siglo XX y XXI cuando el concepto del CI toma una definición más estandarizada (Bontis, 2007). Por otra parte, en una organización la ventaja competitiva se logra con el conjunto de destrezas profesionales que precisamente brinda el capital intelectual (Edvinsson y Malone, 1999).

Esto quiere decir que no se trata únicamente de generar conocimiento *per se* sobre ciertas áreas específicas. Lo relevante es la aplicación de ese conocimiento a través de la experiencia de individuos y organizaciones que, por medio de

modelos organizacionales, se ajusten a las demandas de los clientes y/o usuarios de las nuevas tecnologías creadas para su beneficio.

En toda organización, el CI está conformado por el conjunto de ideas, conocimiento en general y tecnología; es decir, los beneficios del capital intelectual están dados por el conocimiento (Sullivan, 2001). De ésta manera, es posible apreciar la utilidad del CI desde una perspectiva estratégica. El CI de una organización es la base para la investigación e innovación que permita mejorar su posición competitiva.

La innovación es resultado de actividades específicas y enfocadas que se proponen para lograr nuevo conocimiento, nuevos productos. En tanto que mejorar los atributos que hoy en día definen los beneficios del servicio, está referido a la mejora continua. La innovación por su parte tiene como propósito crear nuevas formas de proporcionar beneficios; por lo tanto, la totalidad del proceso de innovación del servicio depende de descubrir y desarrollar ideas creativas (Gustafsson y Johnson, 2004).

En ese sentido, los Centros de Investigación y Desarrollo, tanto públicos como privados, son considerados como uno de los principales generadores del conocimiento y tecnología, enfocados en la mejora de procesos, innovación y desarrollo de nuevos productos y servicios en determinadas áreas científicas y prácticas. Por ello, los gobiernos que desean una mejor economía y bienestar de su población, se dan a la tarea de financiar CPI en las empresas nacionales con el modelo de incremento en la competitividad (CONACYT, 2013).

El Gobierno de la República a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), presentó el Programa Especial de Ciencia y Tecnología (PECYT) 2001-2006, como un instrumento de planeación en materia de Ciencia y Tecnología, para impulsar de una manera eficiente las actividades científicas y tecnológicas del país. En este programa se definen tres objetivos estratégicos:

- Contar con una política de Estado en Ciencia y Tecnología.

- Incrementar la capacidad científica y tecnológica del país.
- Elevar la competitividad y la innovación de las empresas.

Para lograr el cumplimiento de los objetivos anteriores se usaron los siguientes instrumentos:

- Programa Especial de Ciencia y Tecnología (PECYT) 2001-2006.
- Sistema Integrado de Información sobre Investigación Científica y Tecnológica (SIICYT).
- **Sistema Nacional de Centros Públicos de Investigación.**
- Incentivos y financiamiento al Gasto de Investigación y Desarrollo Experimental (GIDE) del sector privado.

El Sistema de Centros CONACYT es:

*Un conjunto de 27 instituciones de investigación que abarcan los principales campos del conocimiento científico y tecnológico. Según sus objetivos y especialidades se agrupan en tres grandes áreas: 10 de ellas en ciencias exactas y naturales, 8 en ciencias sociales y humanidades, 8 más se especializan en desarrollo e innovación tecnológica, y uno en el financiamiento de estudios de posgrado (CONACYT, 2013).*

De conformidad con las directrices emanadas del Programa de Ciencia y Tecnología 2001-2006, los objetivos de los Centros Públicos CONACYT son:

- *Divulgar en la sociedad la ciencia y tecnología.*

- *Fomentar la tecnología local y adaptarla a la tecnología extranjera.*
- *Innovar en la generación, desarrollo, asimilación y aplicación del conocimiento de ciencia y tecnología.*
- *Vincular la ciencia y tecnología en la sociedad y el sector productivo para atender problemas.*
- *Crear y desarrollar mecanismos e incentivos que propicien la contribución del sector privado en el desarrollo científico y tecnológico.*
- *Incorporar estudiantes en actividades científicas, tecnológicas y de vinculación para fortalecer su formación.*
- *Fortalecer la capacidad institucional para la investigación científica, humanística y tecnológica.*
- *Fomentar y promover la cultura científica, humanística y tecnológica de la sociedad mexicana.*

Dentro de las principales funciones que los Centros Públicos de Investigación llevan a cabo, están (CONACYT, 2013):

- *Investigación científica básica y aplicada, innovación científica y desarrollo tecnológico.*
- *Producción científica de alto nivel vinculada a las necesidades regionales con especial incidencia en las estrategias de desarrollo sustentable del país.*
- *Formación de académicos, científicos, tecnólogos y en general profesionales de alto nivel de pre y posgrado.*
- *Vinculación entre los sectores público y productivo, con particular interés en las pequeñas y medianas empresas.*

- *Innovación en la generación, desarrollo y aplicación del conocimiento científico, humanístico y tecnológico altamente competitivo en el contexto nacional e internacional.*
- *Asistencia en innovación y desarrollo tecnológico al sector productivo para potenciar la competitividad de México en el mundo.*
- *Extensión académica orientada a empresas, gobiernos y organizaciones de la sociedad.*

En marzo de 1992 se lleva a cabo la descentralización de la investigación en el país por parte de los CPI, cuando se crea el Sistema de Centros Públicos de Investigación CONACYT (SCPIC). Éste ha representado un sustento importante en el fomento de la innovación tecnológica, estudios sociales y desarrollo científico. El sistema trabaja en tres áreas (Figuroa, 2012):

- Investigación, en ciencias exactas y naturales
- Ciencias sociales y humanidades
- En ciencia y desarrollo tecnológico.

Actualmente, la asignación de recursos por parte del Gobierno Federal destinada a Ciencia y Tecnología está muy por debajo de lo que marcan los estándares internacionales que se debe destinar a la ciencia y tecnología. En el año 2012 se otorgó el 0.4% del PIB (Figuroa, 2012) y, cuando menos, debemos llegar al 1% como lo marca el Artículo 9 bis de la Ley de Ciencia y Tecnología en México (Ley de ciencia y tecnología 2002, última reforma DOF 28-01-2011). Este porcentaje representa un número muy bajo si lo comparamos con lo que se invierte en otras economías (véase Tabla 1).

**Tabla 1. Indicadores de inversión en Ciencia, tecnología e innovación**

PAÍS	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Australia	1.72	..	1.99	..	2.24	..	..	..
Austria	2.24	2.46 (c)	2.44	2.51	2.67 (c,p)	2.72	2.76 (c,p)	2.76 (p)
Bélgica	1.86	1.83	1.86	1.89	1.97	2.03	1.99 (p)	..
Canadá	2.07	2.04	2.00	1.96	1.86	1.92	1.80 (p)	..
Chile	..	..	..	0.33	0.39	..	..	..
Republica Checa	1.20	1.35	1.49	1.48	1.41	1.48	1.56	..
Dinamarca	2.48	2.46	2.48	2.58	2.85	3.06	3.06 (c)	..
Finlandia	3.45	3.48	3.48	3.47	3.70	3.92	3.87	..
Francia	2.16	2.11	2.11	2.08	2.12	2.26	2.26 (p)	..
Alemania	2.50	2.51	2.54	2.53	2.69	2.82	2.82 (c)	..
Grecia	0.56 (c)	0.60	0.59 (c)	0.60 (c)	..	..	..	..
Hungría	0.88	0.94	1.01	0.98	1.00	1.17	1.16	..
Islandia	..	2.77	2.99	2.68	2.64 (p)	..	..	..
Irlanda	1.22	1.24	1.24	1.28	1.45	1.74 (c)	1.79 (c,p)	..
Israel	4.29	4.42	4.50	4.84	4.77	4.46 (p)	4.40 (p)	..
Italia	1.09	1.09	1.13	1.17	1.21	1.26	1.26 (p)	..
Japón	3.17	3.32	3.40	3.44	3.45	3.36	..	..
Corea del sur	2.68	2.79	3.01	3.21	3.36	3.56	3.74	..
Luxemburgo	1.63	1.56	1.66	1.58 (c)	1.57	1.66	1.63 (p)	..
<b>México</b>	<b>0.40</b>	<b>0.41</b>	<b>0.39</b>	<b>0.37</b>	..	..	..	..
Países bajos	1.93	1.90	1.88	1.81	1.77	1.82	1.83 (p)	..
Noruega	1.57	1.51	1.48	1.59	1.58	1.78	1.69 (p)	..
Portugal	0.75 (c)	0.78	0.99 (c)	1.17	1.50	1.64	1.59 (p)	..
Eslovenia	1.39	1.44	1.56	1.45	1.65	1.86	2.11 (p)	..
España	1.06	1.12	1.20	1.27	1.35	1.38	1.37 (p)	..
Suecia	3.58	3.56	3.68	3.40	3.70 (c)	3.61	3.43 (c)	..
Suiza	2.90	..	..	..	2.99	..	..	..
Reino Unido	1.68	1.73	1.75	1.78	1.77 (c)	1.85 (c)	1.77 (p)	..
U.S.A.	2.55	2.59	2.64	2.70	2.84	2.90	..	..
OECD Total	2.18	2.22	2.25	2.28	2.35	2.40 (p)	..	..

Última actualización, 29 marzo del 2012. Nota: notas específicas de cada país disponibles en <http://www.oecd.org/dataoecd/21/22/49501885.pdf>. 1) Los datos de Israel son suministrados por y bajo la responsabilidad de las autoridades israelíes. El uso de estos datos de la OCDE es sin perjuicio de la situación de los Altos del Golán, Jerusalén Este y los asentamientos israelíes en la Ribera Occidental, en los términos del derecho internacional. c) Estimación nacional o proyección ajustada, en su caso, por la Secretaría para cumplir con las normas de la OCDE. p) Provisional

Fuente: Elaboración propia a partir de OCDE (2011).

En las actividades de los CPI no existe vinculación entre las diferentes áreas de estudio, por lo que hay instituciones que las agrupan tales como: CONACYT, SENER, SALUD, IPN, UNAM. En las actuales economías basadas en el conocimiento, la productividad de la ciencia y la tecnología tiene un alto significado estratégico.

Dado que algunos países invierten grandes sumas en actividades científicas y tecnológicas (la media de los países de la OCDE dedica a las actividades de I+D el 2% de su PIB), es necesario conocer cuáles son los impactos reales que se obtienen a partir de estos esfuerzos; es decir, resulta necesario medir el conocimiento que se genera.

*Ésta es una tarea difícil, ya que el conocimiento es siempre acumulativo e intangible..... El conocimiento científico y técnico se almacena y distribuye, tradicionalmente, a través de publicaciones (artículos de revistas, patentes, libros y otros medios de comunicación científica escrita). Por medio de la Bibliometría, es decir, mediante la observación y tratamiento matemático y estadístico de los datos bibliográficos incluidos en dichas publicaciones, se llega a comprender las características y comportamiento de la ciencia y la tecnología. Conviene señalar, no obstante, que el único juicio considerado internacionalmente válido en la evaluación de la calidad científica es la opinión de los expertos (Sancho, 2002).*

Sancho (2002), cita las recomendaciones que la OCDE ha desarrollado para el uso de la Bibliometría como indicador de ciencia y tecnología, que cubre tanto literatura científica como patentes.

*“El camino a recorrer para llegar a ser considerada por clientes, proveedores, competidores, y la sociedad en general como una organización de clase mundial es arduo y escabroso y no se logra de un solo golpe maestro, requiere perseverancia, conocimiento, personal perfectamente capacitado, buen manejo de recursos, honestidad absoluta, innovación constante, trabajo en equipo, sentido de organización y muchos otros factores” (Barnés, Eroles, Estivill, Lapuente, Viesca, 1998, p. 71).*

En México es necesario fortalecer la vinculación entre las empresas, los CPI y las instituciones de educación superior, con el fin de generar los especialistas con el perfil que requiere la industria y desarrollar proyectos en las líneas de investigación que necesitan para mejorar su posición en los mercados. A continuación se indican los CPI dedicados a las ciencias exactas, ciencias naturales y tecnología que cuentan con laboratorios de ensayo, investigación y desarrollo, en donde la calidad de las mediciones que ahí se realizan deben asegurarse mediante el uso de buenas prácticas metrológicas y garantizar que las innovaciones y desarrollos de nuevos productos, cumplan con los requisitos del cliente o de las normas aplicables (véanse Tablas 5 a la 9 en anexo 3).

El resultado de las investigaciones y desarrollos tecnológicos que producen los CPI, debe mantenerse en la generación de innovaciones y nuevos productos, algunos directamente derivados de la operación propia de los CPI y otros vía la transferencia de tecnología, que permitan a las empresas posicionarse a la vanguardia en su especialidad.

### **1.3 Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)**

El 23 de agosto de 1965 se crea el Instituto Mexicano del Petrolero (Historia del IMP, 2012) y se hace pública su creación en el diario oficial de la federación (DOF) el día 26 de agosto de 1965, como organismo descentralizado, con los objetivos principales de:

- La investigación científica básica y aplicada;
- El desarrollo de disciplinas de investigación básica y aplicada;
- La formación de investigadores.
- La difusión de los desarrollos científicos y su aplicación en la técnica petrolera.

- La capacitación del personal obrero que pueda desempeñar labores en el nivel subprofesional, dentro de las industrias petrolera, petroquímica básica, petroquímica derivada y química.

Es importante mencionar que el IMP ha contribuido al desarrollo del país mediante la formación de recursos humanos y la creación de tecnología nacional. En el año de 1966 se definieron las áreas principales de investigación de este instituto, las cuales son:

- Geología
- Geofísica
- Ingeniería petrolera
- Transporte
- Distribución de hidrocarburos
- Economía petrolera
- Refinación
- Petroquímica
- Diseño de equipo mecánico, electrónico y maquinaria
- Electrónica aplicada.

A partir del 21 de julio de 2000, el IMP fue reconocido como Centro Público de Investigación, lo que derivó en la modificación de su Decreto de Creación y, a partir del 30 de octubre del 2001, se faculta al IMP para formar especialistas en estudios de posgrado en diferentes modalidades, maestros, doctores e investigadores en las áreas propias de investigación y sin perder su carácter de centro público de investigación y de desarrollo tecnológico, aportando gran valor agregado en la cadena de valor de la industria petrolera.

## **1.4 Laboratorios de investigación del IMP**

Para cumplir con sus funciones y objetivos el IMP trabaja con base en macro procesos con 33 laboratorios que dan soporte a la investigación, desarrollo tecnológico e innovación y un laboratorio de metrología que apoya técnicamente a los laboratorios en sus procesos de medición para garantizar la calidad de sus resultados (véase Tabla 2). El laboratorio de metrología, está acreditado por la entidad mexicana de acreditación (ema) bajo la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”; en las áreas de Masa, Eléctrica, Presión, Temperatura y Volumen. Este laboratorio garantiza la calidad y confiabilidad de los resultados de las mediciones; se encarga, entre otras cosas, de efectuar la calibración de los instrumentos de medida, por lo que se establece la trazabilidad metrológica a patrones nacionales a las mediciones que realizan los laboratorios de investigación y ensayos, además de apoyar las actividades relacionadas con el Sistema Institucional de Gestión de la Calidad, tales como asesoría y capacitación en metrología.

**Tabla 2. Laboratorios de investigación del IMP**

ÁREA	LABORATORIO
Seguridad y Medio Ambiente.	Análisis y tratamientos de aguas.
	Emisiones vehiculares y ensayo de motores.
	Especies atmosféricas y calidad del aire.
	Química analítica especializada.
Ingeniería de Procesos.	Análisis de crudo.
	Metrología.
	Tratamientos químicos.
	Tecnología de materiales.
	Análisis físicos.
	Análisis químicos.
	Cromatografía.
Lubricantes.	
Dirección de Exploración y Producción.	Análisis integral de muestras de roca.
	Análisis PVT y composicional.
	Corrosión.
	Fluidos de control de pozos.
	Geomecánica.
	Geoquímica y petrografía orgánicas.
	Herramientas de adquisición de datos en pozos e instalaciones.
	Producción de hidrocarburos.
	Productividad de pozos.
	Recuperación de hidrocarburos.
	Pruebas de trazadores.
Investigación y Posgrado.	Sistemas de combustión.
	Síntesis química y electroquímica.
	Propiedades termofísicas.
	Catálisis combinatorial.
	Caracterización estructural de crudo y sus derivados.
	Caracterización espectroscópica de gases y estudios ambientales.
	Caracterización de materiales.
	Evaluación de micro plantas y escalamiento de catalizadores.
	Plantas piloto.
	Microscopía electrónica de ultra alta resolución.
	Biotecnología

Fuente: Elaboración propia a partir de la información de los macro procesos disponibles en la intranet del IMP, consultados en el año 2013.

## Capítulo II. Marco teórico y conceptual

### 2.1 El uso de la metrología

La metrología es ciencia de las mediciones encargada de diseñar, establecer y validar los métodos de medida requeridos para efectuar las mediciones con la incertidumbre apropiada para una aplicación particular; es la base para investigar, experimentar y establecer los patrones primarios en el ámbito internacional, mantiene los patrones nacionales en los diferentes países y disemina la exactitud de sus mediciones, vía la trazabilidad metrológica.

Por lo anterior, la metrología es fundamental para establecer los parámetros necesarios de medida, en las diferentes magnitudes metrológicas, involucradas en la investigación, innovación, fabricación de productos y desarrollo de servicios con altos niveles de calidad y competitividad. Gracias a esta ciencia, se puede comprobar, con un alto grado de confiabilidad, que las características del producto terminado están en condiciones de someterse a verificación, de acuerdo con las especificaciones requeridas por las normas o por el cliente. La aplicación de la metrología se involucra en las mediciones de todos los campos de la ciencia y la tecnología, considerando cualquier intervalo de incertidumbre; algunos ejemplos de su aplicación son:

Desarrollar mediciones de grandes volúmenes en la industria petrolera con incertidumbre relativamente grande y en la industria privada, como en empresas del ramo farmacéutico, aeronáutico o espacial, se pueden hacer mediciones con incertidumbre muy pequeña.

En muchas ocasiones es necesario medir magnitudes específicas con gran exactitud e incertidumbre apropiadas para satisfacer requerimientos del cliente, para asegurar la confiabilidad de las mediciones de transferencia de custodia y

para garantizar la calidad de las mediciones que se realizan en los laboratorios de los CPI.

El papel de la metrología es muy relevante cuando el proceso de medición es vital para la investigación y desarrollo de nuevos productos que contribuyan al bienestar de la población, ya que permanentemente se consumen productos nacionales y extranjeros, y es la metrología la que ayuda a determinar que esos productos de consumo cumplan con las especificaciones de normas o especificaciones sobre salud y seguridad en medicinas y alimentos, en aplicaciones militares, monitoreo de sistemas de producción, en la verificación de los niveles de emisiones contaminantes; en la industria petrolera, para la medición de combustibles y comercialización del principal recurso natural del país, pero muy especialmente en los trabajos que se realizan en los Centros Públicos de Investigación.

Para tal efecto es necesario calibrar permanentemente los instrumentos utilizados en investigación y desarrollo para saber cómo están midiendo; es decir, cuál es el error de indicación de ese instrumento de medida y su incertidumbre asociada. De esta manera se puede hacer la corrección en la lectura y conocer realmente el valor de la magnitud que estamos midiendo.

La calibración de instrumentos de medida debe realizarse en un laboratorio acreditado, para tener la confianza en los valores que se indican en los certificados de calibración y en la trazabilidad metrológica de las mediciones, que están referenciadas a patrones nacionales o internacionales.

La calibración de los instrumentos, la trazabilidad metrológica y la incertidumbre de medida asociada pueden ser tan críticos, que los resultados de las investigaciones y desarrollos tecnológicos no puedan ser escalados a nivel industrial, ya que las diferencias en las mediciones, debido a la falta de calibración y corrección en las mediciones durante la etapa de investigación y la etapa de producción, pueden afectar seriamente la calidad del producto.

Cuando la investigación y desarrollo se realiza midiendo con instrumentos calibrados y trazabilidad de las mediciones a patrones nacionales y considerando la incertidumbre de medida, los resultados pueden ser reproducidos, repetidos y verificados, además de poder reemplazar un instrumento cuando la tendencia indique que está próximo a ocasionar problemas en las mediciones. La frecuencia de calibración es determinada por el usuario, quien debe considerar, entre otras cosas, lo siguiente:

- El tipo y características metrológicas del instrumento;
- Frecuencia y forma de uso;
- Cuidados en su manejo y almacenamiento;
- Estabilidad.

Para lo cual deberá tener gráficos de control con datos estadísticos de las calibraciones previas y verificaciones intermedias, cuyos valores nos indican la tendencia en su funcionamiento. Medir con calidad tiene las siguientes ventajas:

- Aumenta la confiabilidad en los resultados de las mediciones.
- Permite asegurar la calidad del producto.
- Aumenta la confianza de los clientes.
- Apoya objetivamente las decisiones de mejora.
- Incrementa la eficiencia en el uso de recursos.
- Facilita la comparación en caso de controversia.
- Contribuye a mejorar la competitividad.
- Reduce la incertidumbre en cuanto a la calidad de los trabajos que se realizan en los CPI.

El propósito de una medición es determinar el valor de una magnitud, llamada el mensurando, que es el atributo sujeto a medición de un fenómeno, cuerpo o sustancia que puede ser distinguido cualitativamente y determinado cuantitativamente. La definición del mensurando es vital para obtener buenos resultados de la medición, ya que en muchas ocasiones se mide algo distinto al propósito original. Por ejemplo, si deseamos conocer el diámetro de un tubo hay que especificar claramente si se trata del diámetro interior o del diámetro exterior, o si deseamos medir un objeto debemos definir qué elemento o elementos queremos conocer. Entre los cuales podrían estar sus dimensiones, su masa, la densidad del material, el volumen o alguna otra característica.

La imperfección natural del proceso de medición, hace imposible conocer con certeza absoluta el valor verdadero de una magnitud. Toda medición lleva implícita una incertidumbre de medida. Una definición completa del mensurando incluye especificaciones sobre las magnitudes de entrada relevantes.

El resultado de una medición incluye la mejor estimación del valor del mensurando y una estimación de la incertidumbre de medida sobre ese valor. La incertidumbre de medida se compone de contribuciones de diversas fuentes, algunas de ellas descritas por las magnitudes de entrada respectivas. Ciertas contribuciones son inevitables por la definición del propio mensurando, mientras otras pueden depender del principio de medición, del método y del procedimiento seleccionados para la medición.

## **2.2 Actividades de Metrología en los CPI**

Se realizó una investigación con el fin de conocer, tanto las actividades de los laboratorios del IMP, como el uso de buenas prácticas metrológicas y su nivel de implantación en un CPI. Tanto a nivel nacional como internacional, se encontró poca literatura que trate este tema. Existen guías, normas y sugerencias de

expertos de Institutos nacionales de Metrología de algunos países que promueven el uso de algunas buenas prácticas metrológicas, entre los que destacan:

- ISO mejores prácticas en la certificación de materiales de referencia y uso en geoanálisis (Kane J. y Potts P., 2007).
- Asegurar el éxito con metrología en línea (Schmith R. y Moening F., 2006).
- Sistema de administración del conocimiento y recursos humanos para competencias en metrología, usando tecnologías de información (Echeverría *et al*, 2006), entre otras.

De esta manera, resulta relevante conocer el uso de buenas prácticas metrológicas que se operan dentro de los CPI, analizarlas y proponer acciones de mejora que sean de aplicación general y que apoye a la innovación, la investigación y el desarrollo de estos centros.

### **2.3 Buenas prácticas metrológicas en laboratorios de investigación y desarrollo**

Los Centros Públicos de Investigación son el principal soporte para la generación de investigación básica y desarrollo tecnológico que tiene el gobierno federal para apoyar el crecimiento industrial. El uso de buenas prácticas metrológicas en los CPI garantizan la calidad y confiabilidad de las mediciones y, por lo tanto, el resultado de sus investigaciones; les ayuda a disminuir el riesgo de fallas al momento de su escalamiento a nivel industrial, los costos de operación y, en un determinado momento, contribuye a la integridad física de las personas.

La calidad en las mediciones, a través de buenas prácticas metrológicas, es primordial, asegura que las investigaciones y ensayos que dan como resultado los

desarrollos tecnológicos, las innovaciones y nuevos productos que la industria tanto necesita para competir y crecer en un mercado cada día más complejo. Las normas NMX-CC-10012-IMNC-2004 “Sistema de gestión de las mediciones-Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición”; NMX-EC-17025-IMNC-2006 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”; NMX-CC-9001-IMNC:2008 “Sistemas de gestión de la calidad-Requisitos”, NMX-EC-17043-IMNC-2010 “Evaluación de la conformidad-Requisitos generales para los ensayos de aptitud, las Guías Técnicas de Trazabilidad e Incertidumbre de las mediciones EMA-CENAM y los documentos sobres Políticas de Ensayos de Aptitud, Trazabilidad e Incertidumbre de EMA proponen e involucran lineamientos para el desarrollo de buenas prácticas metrológicas enfocadas a:

- Uso de instrumentos calibrados.
- Mantenimiento programado de equipos e instrumentos.
- Verificación periódica de los instrumentos.
- Procedimientos de verificación adecuados.
- Uso de certificados de calibración para corregir las mediciones que lo requieran.
- Uso de instrumentos de la clase de exactitud adecuada.
- Uso de métodos validados.
- Elaboración de cartas de control para detectar tendencias y actuar oportunamente.
- Uso adecuado de los instrumentos de medición.
- Limpieza de instrumento después de su uso.
- Guardar los instrumentos en sus estuches para protegerlos.
- Mediciones en condiciones ambientales que no comprometan los resultados.
- Personal capacitado.

- Instalaciones adecuadas para las mediciones.
- Iluminación adecuada.
- Uso de accesorios de apoyo, cuando se requiera para ver bien las indicaciones.
- Energizar los instrumentos con la adecuada anticipación para obtener lecturas confiables.
- Esperar el tiempo de estabilización del instrumento para tomar las lecturas.
- Transporte y almacenamiento adecuados.
- Mantener el área de trabajo en condiciones de limpieza y orden.
- Verificar los instrumentos inmediatamente cuando se sospeche de lecturas incorrectas.
- Tener los instrumentos en la cantidad y clase de exactitud adecuados.
- Tener proveedores de servicios de calibración evaluados para garantizar la confiabilidad de sus servicios.
- Participar periódicamente en ensayos de aptitud.
- Tener un registro o historial de cada uno de los instrumentos.
- Seguimiento oportuno a los programas de mantenimiento y calibración.
- Uso de ropa de trabajo y equipo de seguridad adecuada.
- Uso de guantes durante el uso de algún instrumento que lo requiera.
- Uso de fuente de energía ininterrumpida.
- Uso de tierra física adecuada a los instrumentos que lo requieran.

Para un análisis más profundo sobre los conceptos utilizados y normas de apoyo en metrología, véase el anexo 2.

## 2.4 Revisión por la Dirección

Para que un sistema de metrología sea operable e incremente su desempeño, debe de ser evaluado permanentemente y retroalimentado por las áreas involucradas en su funcionamiento. La Revisión por parte de la Dirección involucra a los funcionarios o directivos que tienen la autoridad para tomar decisiones, que conozcan la operación y apoyen la mejora del laboratorio de investigación, ensayo o calibración, la detección de oportunidades de mejora puede involucrar el incremento en:

- El presupuesto para su operación.
- La cantidad de personal.
- La compra de equipo, ampliaciones o cambio de áreas.
- Cumplimiento con los programas de capacitación.
- Cambios en las políticas y/o procedimientos del Sistema de Gestión, etc.

La norma mexicana NMX-EC-17025-IMNC-2006 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”; nos indica que:

*La alta dirección del laboratorio debe efectuar periódicamente, de acuerdo con un calendario y un procedimiento predeterminados, una revisión del sistema de gestión y de las actividades de ensayo o calibración del laboratorio, para asegurarse de que se mantienen constantemente adecuados y eficaces, y para introducir los cambios o mejoras necesarios. (Norma mexicana NMX-EC-17025-IMNC-2006, pág.11-12).*

La revisión debe tener en cuenta los elementos siguientes:

- La adecuación de las políticas y los procedimientos.
- Los informes del personal directivo y de supervisión.
- El resultado de las auditorías internas recientes.
- Las acciones correctivas y preventivas.
- Las evaluaciones por organismos externos.
- Los resultados de las comparaciones interlaboratorios o de los ensayos de aptitud.
- Todo cambio en el volumen y el tipo de trabajo efectuado.
- La retroalimentación de los clientes.
- Las quejas.
- Las recomendaciones para la mejora.
- Otros factores pertinentes, tales como las actividades del control de la calidad, los recursos y la formación del personal.

La norma mexicana NMX-EC-17025-IMNC-2006, recomienda los siguientes puntos a cumplir para el proceso de revisión del sistema metrológico:

- La frecuencia típica para efectuar una revisión por la dirección es una vez cada doce meses.
- Es conveniente que los resultados alimenten el sistema de planificación del laboratorio y que incluyan las metas, los objetivos y los planes de acción para el año venidero.
- La revisión por la dirección incluye la consideración, en las reuniones ordinarias, de los temas relacionados con la metrología.
- Se deben registrar los hallazgos de las revisiones por la dirección y las acciones que surjan de ellos. La dirección debe asegurarse que esas acciones se ejecuten dentro de un plazo apropiado y acordado.

## Capítulo III. Marco Metodológico

### Hipótesis

Si logramos identificar las buenas prácticas metrológicas desde la perspectiva de la revisión por la dirección, se podrán proponer acciones de mejora para los laboratorios de ensayo e investigación de Centros Públicos de Investigación que ayuden a mejorar su competitividad.

### Objetivo general

Identificar las buenas prácticas metrológicas basados en un enfoque desde la revisión por la dirección, que emplea el personal dedicado a realizar trabajos de investigación y desarrollo tecnológico en Centros Públicos de Investigación (CPI). Además de identificar y proponer acciones de mejora para asegurar la calidad de las mediciones en el área de investigación y desarrollo tecnológico e innovación.

### Objetivos específicos

- Identificar cuáles son las buenas prácticas metrológicas en CPI a través de un estudio de caso en el Instituto Mexicano del Petróleo.
- Aplicar encuestas, basadas conforme a la escala tipo Likert, a una muestra del personal de los laboratorios que integran un CPI, para conocer las prácticas metrológicas que emplean y el nivel de aplicación que tienen de buenas prácticas metrológicas.
- Identificar y proponer acciones de mejora para el uso de buenas prácticas metrológicas, a través del apoyo de un panel de expertos en el área de metrología.

### 3.1 Abordaje metodológico

Inicialmente se llevó a cabo una investigación biblio-hemerográfica para la identificación de las buenas prácticas metrológicas que se presentan en diversos ambientes de carácter industrial. A partir de esta identificación, se seleccionaron aquellas prácticas más *ad hoc* para el área de investigación, desarrollo tecnológico e innovación. Una vez obtenido este primer bloque de buenas prácticas se evaluó la identificación de éstas bajo la metodología de estudio de caso. El método de estudio de caso según Eisenhardt (1989), y Yin (2009), lo han definido como una estrategia metodológica de investigación científica que resulta de amplia utilidad para obtener resultados que permitan desarrollar teorías o para poder explicar nuevos paradigmas científicos que a su vez posibiliten el desarrollo de diversos campos científicos.

El método de estudio de caso según Yin (1981), resulta apropiado para indagar en campos prácticamente nuevos que a través de trabajo de tipo empírico es posible explorar fenómenos contemporáneos. Esto se lleva a cabo a través de los siguientes elementos:

- Examina o indaga sobre un fenómeno contemporáneo en su entorno real.
- Las fronteras entre el fenómeno y su contexto no son claramente evidentes.
- Se utilizan múltiples fuentes de evidencias cuantitativas y/o cualitativas simultáneamente.
- Puede estudiarse tanto como un caso único, así como múltiples casos.

La metodología de investigación se desarrolló en dos partes: la primera consistió en la revisión de la literatura y un estudio para la identificación de las buenas prácticas metrológicas. Se utilizó la escala tipo Likert para la elaboración de la encuesta con la que se entrevistó a los responsables de los laboratorios

seleccionados (véase anexo 1). La encuesta inicial fue analizada y validada por dos expertos de un CPI. La segunda parte incluyó la utilización de la técnica de “estudio de caso” para analizar a profundidad la información recabada; por medio del panel de expertos, donde participan para hacer el análisis de ciertas situaciones, se consensa y se sintetiza para llegar a un acuerdo (Stuk, 2000).

El estudio de caso se sitúa en el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) el cual cuenta con 33 laboratorios de investigación y ensayo. De este universo, se logró aplicar una encuesta basada en la escala tipo Likert, que es ampliamente usada en la investigación y se caracteriza por indicar el grado de acuerdo o desacuerdo de un grupo de estudio sobre ciertas aseveraciones, por lo que se tienen que elaborar los indicadores en orden, considerando varios niveles posibles de respuesta, de tal manera que las categorías oscilen entre una escala que va de acuerdo total a desacuerdo total (Hernández y González, 2002). El contenido del cuestionario —buenas prácticas metrológicas— se basa en la propia experiencia como responsable del Laboratorio de Metrología del Instituto Mexicano del Petróleo y de la revisión en la literatura del *Statu Quo* que guardan estas prácticas en ambientes industriales u otros similares, para compararlos en el contexto de los CPI (véase también la lista de los principales documentos técnicos utilizados en la sección de anexos).

Durante la aplicación de la encuesta, el usuario seleccionó las prácticas metrológicas que emplea en su laboratorio y adicionó las que no estaban consideradas. Posteriormente, con base en los resultados obtenidos, se utilizó la técnica de panel de expertos para evaluar los resultados generados y consensuar propuestas de acciones de mejora para optimizar los resultados obtenidos dentro de nuestro estudio. Finalmente, se brindaron recomendaciones que servirán de apoyo para que los usuarios de sistemas de mediciones en Centros Públicos de Investigación empleen buenas prácticas metrológicas como apoyo a sus trabajos de investigación y desarrollo tecnológico e innovación.

## Capítulo IV. Análisis de resultados

### 4.1 Resultados de las entrevistas

Se entrevistó a 15 responsables de los distintos laboratorios de investigación y desarrollo del IMP. De estos laboratorios, ocho están acreditados bajo la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006 y certificados en la norma NMX-CC-9001-IMNC-2008. Siete únicamente cuentan con la certificación. Para brindar un panorama general de los participantes encuestados, dentro de este trabajo de investigación, sobresalen los siguientes datos: El nivel académico, que se clasifica de la siguiente manera: seis cuentan con el título de Licenciatura; seis con el grado de Maestría y tres con el grado de Doctor. Aunque estos son laboratorios de I+D o de prestación de servicios, todos ellos están involucrados en la práctica de actividades metrológicas, enfocadas cuando menos a:

- Calibrar sus instrumentos de medida y realizar verificaciones.
- Uno de ellos, además, realiza confirmación metrológica.
- Elaboración de programas de mantenimiento, calibración y verificación de sus instrumentos de medida.
- Empleo de técnicas estadísticas para el aseguramiento de la calidad de los resultados.
- Uso de buenas prácticas de laboratorio.
- Desarrollo de actividades de medición con personal calificado.
- Corrección en sus mediciones utilizando los resultados de la calibración.

De esta manera, los resultados obtenidos a partir de las preguntas planteadas inicialmente muestran resultados relevantes, como el hecho de que los

entrevistados que optaron por la acreditación, lo hacen principalmente por el reconocimiento, la atención de los requerimientos del cliente, para tener una ventaja competitiva y para garantizar la calidad de los servicios proporcionados.

Los entrevistados que no optaron por la acreditación, indicaron que se debió a que los bajos volúmenes de ensayos y altos costos de acreditación, hacen inviable esta opción; además, algunos indicaron que los clientes no requieren servicios que cuenten con alguna acreditación, aunada a la falta de recursos financieros.

Sobre la importancia que tiene el uso de las buenas prácticas metrológicas dentro de sus lugares de trabajo, el consenso de los entrevistados refirieron a que el uso de las buenas prácticas metrológicas es importante, debido a que ayudan a mejorar la calidad de las mediciones. También, favorecen la calidad de los resultados debido a que los métodos empleados son más precisos. Mencionan que la calibración de los instrumentos de medida juega un papel primordial, porque esta acción permite mantener el aseguramiento de la calidad en los resultados emitidos por el laboratorio; al mismo tiempo, se mejora la calidad de los servicios y se favorece la generación de resultados de ensayos técnicamente válidos.

En este sentido, la acreditación resulta ser un elemento relevante; sin embargo, ante su ausencia, las condiciones que garantizan la eficiencia, eficacia y confiabilidad de los resultados emitidos por los laboratorios deben estar dadas para asegurar la satisfacción de las necesidades del cliente. Los entrevistados enfatizaron que el uso de buenas prácticas metrológicas ayuda a garantizar la confiabilidad de los resultados y generar un alto nivel de certidumbre de la información experimental; con lo cual se constituye la base para la acertada toma de decisiones de los investigadores en el desarrollo del producto, e indican como muy relevante la verificación constante de los equipos e instrumentos de medición para evitar trabajo no conforme.

## **4.2 Análisis de resultados de las entrevistas y cuestionarios para identificar buenas prácticas metrológicas**

El análisis de la información nos permitió observar que algunos laboratorios no siempre utilizan instrumentos calibrados o materiales de referencia certificados. No realizan la evaluación de sus proveedores externos de servicios de calibración; incluso tienen programas de mantenimiento y calibración que no se cumplen. Cuentan con procedimientos y programas de verificaciones intermedias, que tampoco cumplen con diversos requisitos, y algunos utilizan las cartas de control para monitorear el comportamiento de sus instrumentos en tiempo y forma para evitar trabajo no conforme. Pocos de ellos usan los certificados de calibración para hacer las correcciones en sus mediciones. Del mismo modo, un alto porcentaje manifiesta la falta de equipo para llevar a cabo sus ensayos; no obstante, los que sí tienen equipo, indican que es de la clase de exactitud adecuada para su trabajo, y que, en algunos casos, inclusive dichos equipos e instrumentos están bastante sobrados.

La mayoría de los laboratorios tienen iluminación adecuada y utilizan métodos validados. El personal está capacitado, lo que garantiza la operación adecuada de los equipos. Todos esperan el tiempo de estabilización del instrumento para registrar la lectura y tienen cuidado de realizar los ensayos cuando las condiciones ambientales no comprometen los resultados. Igualmente acostumbran limpiar los equipos, transportarlos y guardarlos apropiadamente y mantienen las instalaciones en condiciones de orden y limpieza. En general, conocen y aplican las buenas prácticas de laboratorio en cuanto al uso, manejo, cuidados y verifican sus instrumentos cuando sospechan de lecturas incorrectas, pero hay poca participación en ensayos de aptitud.

### **4.3 Resultados de las entrevistas para identificar las acciones que se realizan como apoyo a la implementación de buenas prácticas metrológicas, en las reuniones de revisión por la dirección**

En la información obtenida referente a la revisión por la dirección, se identificó que algunos encuestados exteriorizaron que no se establecen políticas y procedimientos adecuados que promuevan el uso de buenas prácticas metrológicas. Se declaró la falta de apoyo para la implantación de acciones preventivas y correctivas, que pueden afectar el resultado de las mediciones en los ensayos y no se hace énfasis en el uso de las buenas prácticas metrológicas. Hay poco apoyo para el uso de estas prácticas y para la realización de acciones de mejora derivadas del análisis de los resultados de las comparaciones interlaboratorios o de los ensayos de aptitud; conjuntamente, cuando aumenta la cantidad de trabajo, no se apoya adecuadamente al personal para que se atienda la demanda laboral sin descuidar el uso de buenas prácticas metrológicas.

Se expresa también la falta de apoyo en cuanto a capacitación o actualización sobre el uso de las buenas prácticas metrológicas. Los entrevistados indicaron que la revisión por la dirección promueve y apoya la implantación de acciones de mejora, aunque el apoyo a la implementación de buenas prácticas metrológicas requerirá un mayor empuje.

Un aspecto que los entrevistados consideraron relevante, es la utilización de la retroalimentación del cliente para la mejora de las actividades que apoyen el aseguramiento de la calidad de las mediciones. En general, es poco el fomento y apoyo en el uso de las tecnologías de información para mejorar las prácticas metrológicas.

#### 4.4 Resultados de la aplicación de la encuesta para la identificación de buenas prácticas metrológicas

Posterior a la realización de las entrevistas, se llevó a cabo la aplicación de la encuesta para la identificación de buenas prácticas metrológicas. La encuesta se dividió en dos secciones: la primera de ellas referente a la identificación de buenas prácticas metrológicas y, la segunda, es referente al apoyo por parte de la dirección para la implementación de estas prácticas.

En la primera sección los resultados obtenidos muestran una clara tendencia al uso de buenas prácticas metrológicas. Sin embargo, a partir de los resultados observados en la tabla 3, es posible observar que, en un buen número de casos, el uso de estas prácticas no siempre se hace y, en otros casos, en algunos de los laboratorios bajo estudio se detectó que no existen prácticas relevantes.

**Tabla 3. Uso de buenas prácticas metrológicas en los laboratorios estudiados**

Práctica metrológica (véase anexo)	Siempre	Casi siempre	Regularmente	Nunca
1	9	5	1	0
2	9	3	2	1
3	14	1	0	0
4	9	5	1	0
5	9	3	1	2
6	14	1	0	0
7	9	6	0	0
8	11	3	1	0
9	12	2	1	0
10	9	4	2	0

Continúa...

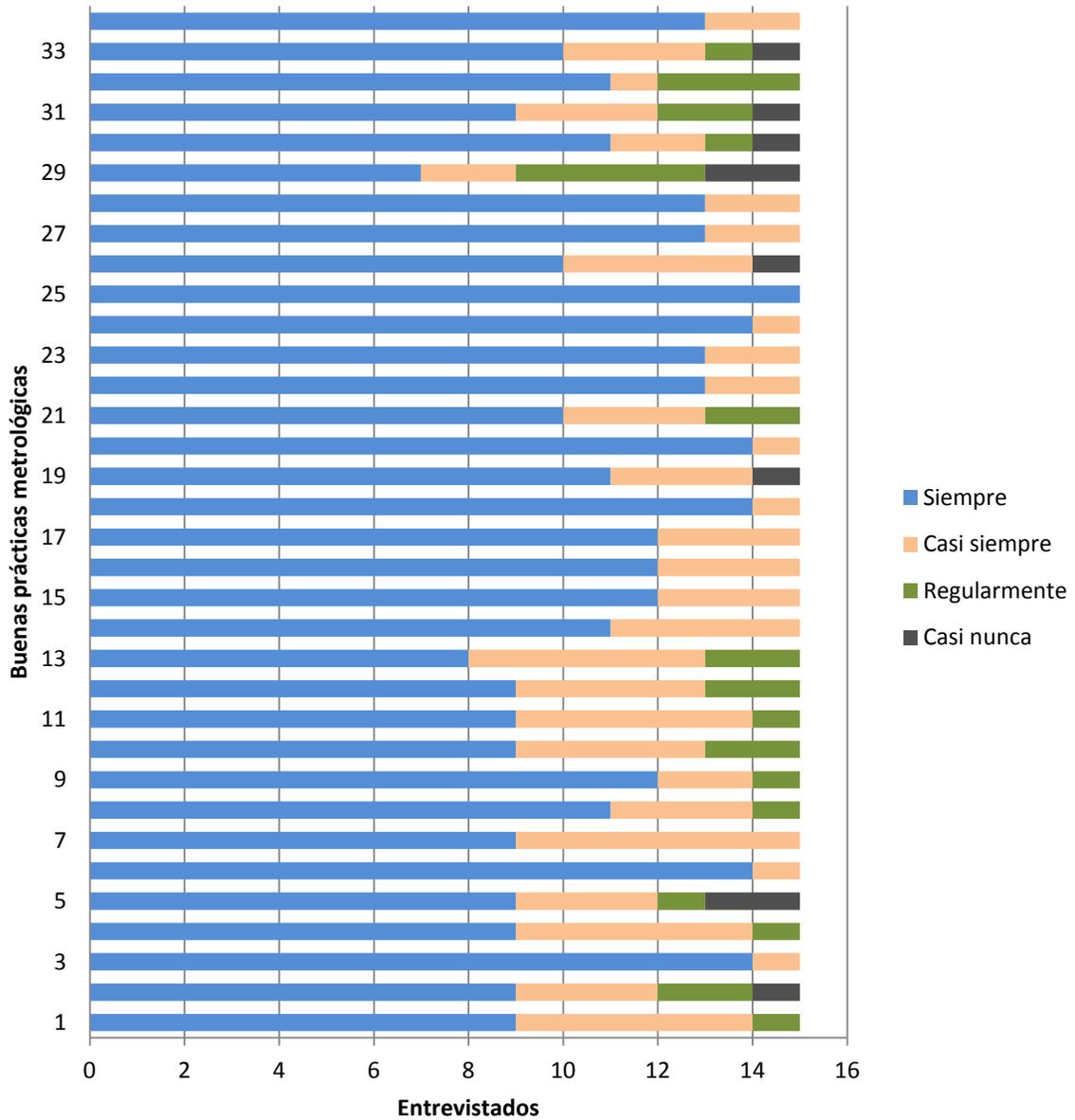
... continuación

Práctica metrológica (véase anexo)	Siempre	Casi siempre	Regularmente	Nunca
11	9	5	1	0
12	9	4	2	0
13	8	5	2	0
14	11	4	0	0
15	12	3	0	0
16	12	3	0	0
17	12	3	0	0
18	14	1	0	0
19	11	3	0	1
20	14	1	0	0
21	10	3	2	0
22	13	2	0	0
23	13	2	0	0
24	14	1	0	0
25	15	0	0	0
26	10	4	0	1
27	13	2	0	0
28	13	2	0	0
29	7	2	4	2
30	11	2	1	1
31	9	3	2	1
32	11	1	3	0
33	10	3	1	1
34	13	2	0	0

Elaboración propia.

En la gráfica 1 es posible observar con claridad las áreas de oportunidad sobre las cuales se pueden implementar acciones para la mejora en dichas prácticas.

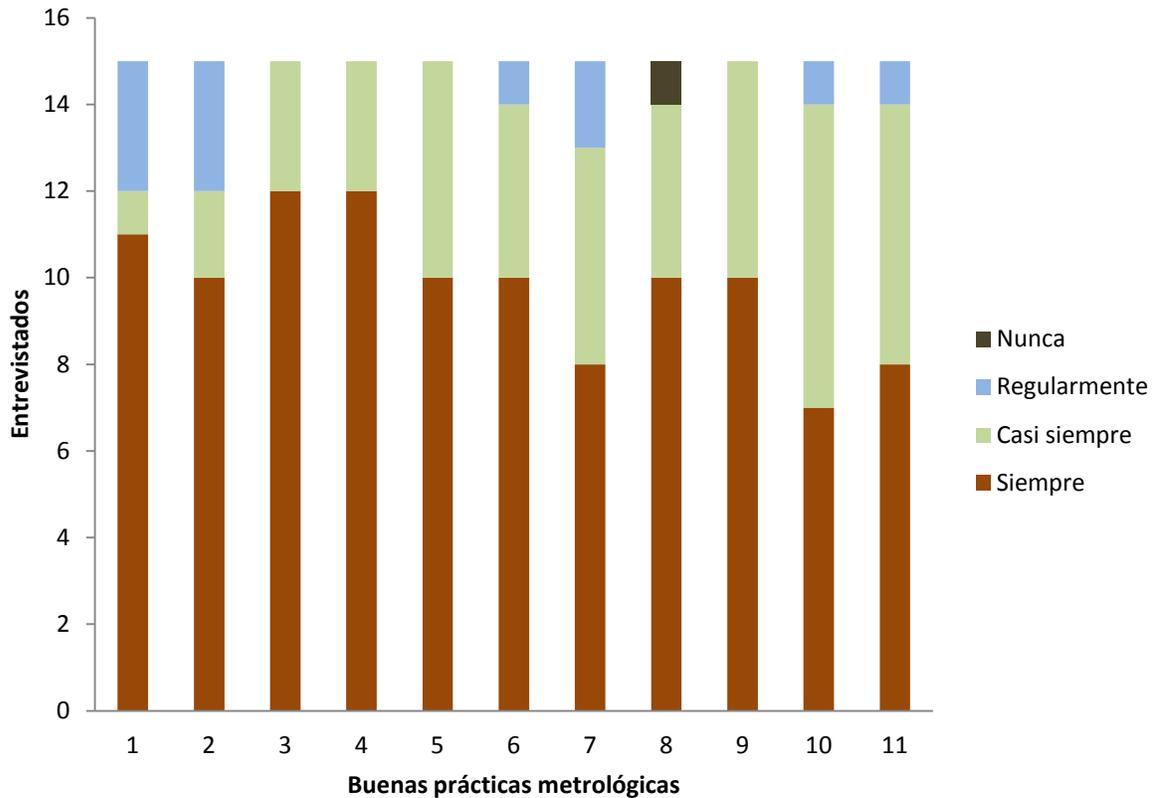
**Gráfica.1. Frecuencia del uso de buenas prácticas metrológicas en los laboratorios estudiados.**



Elaboración propia.

Del mismo modo, en la gráfica 2 es posible apreciar una tendencia similar a la que se mostró en la primera parte del cuestionario. Es decir, si bien existen acciones que apoyan la implementación de buenas prácticas metrológicas por parte de la dirección, existe aún una cantidad importante de áreas de oportunidad sobre las cuales se puede trabajar para promover la mejora continua en el área de metrología dentro de las actividades de los CPI.

**Gráfica. 2. Frecuencia de acciones de apoyo por parte de la dirección para la implementación de buenas prácticas metrológicas.**



Elaboración propia.

Al observar la tabla 4, resaltan principalmente tres áreas de interés; en ellas, se pueden establecer acciones para mejorar el apoyo en la implementación de buenas prácticas de metrología en los laboratorios de investigación, estas son:

- El uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC).
- Capacitación.
- Apoyo a la incorporación de trabajadores en condiciones de aumento de trabajo.

**Tabla 4. Apoyo de la dirección en la implementación de buenas prácticas en los laboratorios estudiados.**

Revisión por la dirección (véase anexo)	Siempre	Casi siempre	Regularmente	Nunca
1	11	1	3	0
2	10	2	3	0
3	12	3	0	0
4	12	3	0	0
5	10	5	0	0
6	10	4	1	0
7	8	5	2	0
8	10	4	0	1
9	10	5	0	0
10	7	7	1	0
11	8	6	1	0

Elaboración propia.

#### 4.5 Validación de los resultados a través del panel de expertos

Después de llevar a cabo la entrevista a profundidad y la aplicación del cuestionario a los laboratorios participantes, una de las maneras de validar o garantizar que los resultados obtenidos en esta etapa previa son confiables, lo representó el uso de la técnica de panel de expertos. Para ello, se realizó la validación con tres profesionales en el área de metrológica que coordinan y se desempeñan en áreas de calibración acreditadas por la entidad mexicana de acreditación (ema). El primer paso fue el análisis y discusión de las respuestas obtenidas de los 15 participantes de los laboratorios entrevistados. En esta parte del análisis, el panel de expertos considera importantes las prácticas propuestas y consensadas en el ejercicio previo. El panel señaló la ausencia de otras prácticas relevantes que no fueron incluidas dentro del cuestionario.

El panel de expertos considera que las principales buenas prácticas metrológicas son las relacionadas con:

- Confirmación metrológica.
- Trazabilidad metrológica.
- Incertidumbre de medida.
- Llevar a cabo las correcciones en las mediciones empleando la información de los certificados de calibración.

Así mismo, el panel de expertos recomienda para la implementación de las buenas prácticas metrológicas con las que, de forma general, se refuercen los siguientes aspectos:

- Evaluación de la eficacia de la capacitación.
- Fortalecer la supervisión.
- Implementar comunidades de aprendizaje.

Finalmente, cabe señalar que el panel de expertos permitió vincular y validar los resultados obtenidos en la primera etapa, a partir de la aplicación de la entrevista y el cuestionario a los 15 responsables de laboratorios de investigación y desarrollo del IMP. Como se mencionó previamente, las buenas prácticas metrológicas identificadas a partir del consenso mostrado durante la aplicación de la entrevista y el cuestionario, fueron corroboradas con la opinión de los especialistas. Igualmente, este ejercicio permitió enriquecer la identificación de un mayor número de buenas prácticas metrológicas, que no estaban consideradas en la primera parte del estudio. Lo que en conjunto con las recomendaciones emanadas de la opinión de los expertos, permitirá conocer a diversos laboratorios de investigación y desarrollo, las áreas de oportunidad que tienen en sus actividades de medición para mejorarlas y, por lo tanto, tener la confianza de que los resultados de sus investigaciones cumplirán con los requisitos de las normas técnicas, las necesidades o expectativas del cliente.

## Discusión y conclusiones

La identificación de buenas prácticas metrológicas resulta relevante porque el aseguramiento de las mediciones ayuda a garantizar la calidad de procesos, productos o servicios que presta una institución. En el caso de los Centros Públicos de Investigación el uso de la metrología es una actividad que ayuda a respaldar la calidad del trabajo que llevan cabo sus investigadores, especialistas y todo el personal técnico y administrativo involucrado. Por lo que la identificación de buenas prácticas de metrología en este contexto particular resulta imprescindible.

La principal contribución de este trabajo es la identificación de buenas prácticas metrológicas en el contexto de laboratorios de I+D de un CPI. Si bien los resultados estadísticamente no son extrapolables hacia otros casos, estos constituyen un primer acercamiento a la solución del problema y, los resultados levantados, pueden abonar a la mejora en la práctica metrológica dentro de este contexto específico. Cabe señalar que los participantes en la entrevista y cuestionarios que se aplicaron manifestaron profesionalismo en sus respuestas. El estudio de caso, la técnica Likert y el empleo del panel de expertos, fueron herramientas muy valiosas que le dan fortaleza y validez a la investigación.

Si bien los laboratorios entrevistados mostraron evidencia de la aplicación de buenas prácticas de laboratorio y su preocupación sobre la emisión de resultados técnicamente válidos, aún faltan acciones que logren dar un impulso adicional para generalizar el uso de las buenas prácticas metrológicas en los CPI y sus respectivos laboratorios. La investigación nos revela también oportunidades de mejora que tienen los laboratorios para asegurar la calidad de sus mediciones.

Ellos cuentan con un fuerte apoyo por parte de la dirección, lo que debe canalizarse para atender los requerimientos indicados por los expertos, tales como el fortalecimiento de la supervisión e Implementar comunidades de aprendizaje.

En el aspecto técnico se hace prioritario que los laboratorios corrijan sus mediciones, considerando para ello los errores que se indican en los certificados de calibración de los instrumentos que se usan en cada ensayo. De esta manera se logra garantizar la trazabilidad metrológica a las mediciones que se realizan en los laboratorios.

Finalmente, podemos decir que la identificación de estas prácticas metrológicas y su implementación, dentro de los laboratorios de I+D de los CPI, ayudarán a garantizar la calidad de las mediciones y, con ello, la satisfacción de sus clientes.

## Bibliografía

- Álvarez, R. (2009). "Importancia de la educación en México. Disponible en: <http://ols.uas.mx/PubliWeb/Articulos/la-importancia-de-la-educaci%C3%B3n.pdf>. [Recuperado el 8 de febrero del 2013]
- Barnés, J., Eroles, A., Estivill V., Lapuente, L. y G, Viesca. (1998). *Su Empresa ¿De Clase Mundial?* México, Centro Mexicano de Gestión Empresarial, Universidad Nacional Autónoma de México y Editorial panorama
- Bontis N. (2007). National Intellectual Capital Index: Intellectual Capital Development In the Arab Region, Institute For Capital Research, Ontario, 2002. En SANCHEZ, Medina AJ et al. El Concepto de Capital Intelectual y sus Dimensiones. Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de Empresa. Vol. 13, No. 2, Pp. 97- 111. Disponible en: <http://www.aedem-virtual.com/articulos/iedee/v13/132097.pdf>. [Recuperado el 01 de febrero de 2013]
- Conacyt. (2013). Centros de investigación Conacyt. Disponible en: <http://www.conacyt.gob.mx/ElConacyt/CentrosConacyt/Paginas/default.aspx> [Recuperado el 10 de febrero de 2013]
- Echeverria Villagómez, S. et al. (2006). "Human resource and knowledge management system for competences in metrology using information technologies" en *XVIII IMEKO World Congress*, September 17-22, Rio de Janeiro, Brasil.
- Eddvinsson M. y Malone S. (1999). El capital intelectual. Gestión 2000, Barcelona. En SANCHEZ, Medina AJ et al. El Concepto de Capital Intelectual y Sus Dimensiones. Investigaciones

Europeas de Dirección y Economía de Empresa. Vol. 13, No. 2, 2007. Pp. 97- 111. Disponible en: <http://www.aedem-virtual.com/articulos/iedee/v13/132097.pdf>. [Recuperado el 01 de febrero de 2013]

Eisenhardt, Kathleen, M. (1989). "Building theories from case study research", [en] *Academy of Management Review*, Vol. 14, No. 4, Pp. 532-550. Disponible en:<http://intranet.catie.ac.cr/intranet/posgrado/Met%20Cual%20nv%20accion/Semana%203/Eisenhardt,%20K.%20Building%20Theories%20from%20Case%20Study%20Research.pdf> [Recuperado el 05 de febrero de 2013]

Engelhard, T. y Dreazen, O. (2004). "Current best practice for traceability in testing laboratories, when certified reference materials are unavailable". En *Accreditation and Quality Assurance*. Vol. (9), Núm (7), pp. 397-398.

Figueroa, A. (2012). Centros Públicos CONACYT, la tercera fuerza en investigación. En *Crónica* Disponible en <http://www.cronica.com.mx/notas/2012/641398.html> [Recuperado el 01 de febrero de 2013]

Gustafsson, A, Johnson M. (2004). Competir en una Economía de Servicios. Editorial Panorama, S. A. de C. V. pp 122-126

Hernández A., Espejo, B, González V. (2002). Universitat de Valencia, Juana, G. Universitat de Barcelona. Metodología de encuestas. Escalas de respuesta tipo Likert: ¿Es relevante la alternativa "Indiferente? Vol. 3 Num. 2 2001 Pp. 135-150

Historia del IMP, última actualización 25 de octubre de 2012. Disponible en <http://www.imp.mx/acerca/?imp=hist3>[Recuperado el 09 de enero de 2013]

IMP. (2013). Información de los macro procesos IMP. 8 de enero de 2013, de IMP Sitio web:

<http://192.168.123.212:9090/businesspublisher/MAP/index.htm>

Informe General del Estado de la Ciencia y Tecnología (CONACYT, 2011) 2002-2011 Disponible en:

<http://www.conacyt.gob.mx/EIConacyt/CentrosConacyt/Paginas/default.aspx>, [Recuperado el 8 de febrero de 2013]

Kane, J. S. y Potts, P. J. (2007). "ISO best practices in reference material certification and use in geoanalysis". En *Geostandards and geoanalytical Research*. Vol. (31), Núm (4), pp.361-378.

Maldonado A. (1997). "Los organismos internacionales y la educación en México. El caso de la educación superior y el banco mundial". [accesado el 9 de febrero de 2013].

[www.uv.mx/mie/.../6LosOrganismosInternacionalesylaEducacionSup.DOC](http://www.uv.mx/mie/.../6LosOrganismosInternacionalesylaEducacionSup.DOC)

Martínez P. (2006). El método de estudio de caso Estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento & gestión*, 20.

Universidad del Norte Pp. 165-193. Disponible en:

[http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/pensamiento\\_gestion/20/5\\_El\\_metodo\\_de\\_estudio\\_de\\_caso.pdf](http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/pensamiento_gestion/20/5_El_metodo_de_estudio_de_caso.pdf). [Recuperado el 30 de enero de 2013].

OECD. (2011). Science and Technology: Key Tables from OECD. 7 de

febrero de 2013, de OECD Sitio web: [http://www.oecd-](http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/gross-domestic-expenditure-on-r-d-2011_rdxp-table-2011-1-en)

[ilibrary.org/science-and-technology/gross-domestic-expenditure-on-r-d-2011\\_rdxp-table-2011-1-en](http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/gross-domestic-expenditure-on-r-d-2011_rdxp-table-2011-1-en)

Sancho, R. (2002). Directrices de la OCDE para la obtención de

indicadores de Ciencia y Tecnología. *Ministerio de Ciencia y Tecnología*, España, Vt-medida-cyt2. Disponible en:

[http://ns.micit.go.cr/encuesta/docs/docs\\_tecnicos/ocde\\_directrices\\_para\\_indicadores\\_ciencia\\_y\\_tecnologia.pdf](http://ns.micit.go.cr/encuesta/docs/docs_tecnicos/ocde_directrices_para_indicadores_ciencia_y_tecnologia.pdf). [Recuperado el 08 de enero de 2013]

Sistema de Centros Públicos de Investigación (CONACYT). Disponible en: <http://www.mexicocyt.org.mx/centros>: [Recuperado el 8 de febrero de 2013]

Stuk. (2000). *An expert panel approach to support risk-informed decision making*. Helsinki, Stuk

Sullivan P.H. (2001). Introducción a la Gestión del Capital Intelectual, en Sullivan PH (eds). *Rentabilizar el capital intelectual. Técnicas para optimizar el valor de la organización*, Paidós empresa, Barcelona.

Yin R. (1981). The case study crisis: some answers. *Administrative Science Quarterly*, Vol. 26 No. 1 (1981). Disponible en: [http://www.alejandrogg.com.mx/AddFiles9/Yin\\_CaseStudyCrisis.pdf](http://www.alejandrogg.com.mx/AddFiles9/Yin_CaseStudyCrisis.pdf) [Recuperado el 30 de enero de 2013].

Yin, R. (2009). *Case Study Research: Design and Methods*, Applied Social Research, Methods Series, fourth edition, Newbury Park CA: Sage publications, Inc. Disponible en: [http://www.amazon.com/gp/product/1412960991/ref=pd\\_lpo\\_k2\\_dp\\_sr\\_1?pf\\_rd\\_p=1278548962&pf\\_rd\\_s=lpo-top-stripe-1&pf\\_rd\\_t=201&pf\\_rd\\_i=0803956630&pf\\_rd\\_m=ATVPDKIKX0DER&pf\\_rd\\_r=110Z8SX4XHHWY3KGGJ2QR#reader\\_1412960991](http://www.amazon.com/gp/product/1412960991/ref=pd_lpo_k2_dp_sr_1?pf_rd_p=1278548962&pf_rd_s=lpo-top-stripe-1&pf_rd_t=201&pf_rd_i=0803956630&pf_rd_m=ATVPDKIKX0DER&pf_rd_r=110Z8SX4XHHWY3KGGJ2QR#reader_1412960991) [Recuperado el 30 de enero de 2013].

# ANEXOS

## Anexo 1

### Formato de entrevista y cuestionarios

#### Cuestionario para la identificación de buenas prácticas metrológicas bajo un enfoque desde la revisión por la dirección

Nombre \_\_\_\_\_

Laboratorio \_\_\_\_\_

Cargo \_\_\_\_\_

Escolaridad \_\_\_\_\_

Edad \_\_\_\_\_ Sexo \_\_\_\_\_ Teléfono \_\_\_\_\_ E mail \_\_\_\_\_

Antigüedad en el laboratorio \_\_\_\_\_

1.- ¿Podría describir brevemente las actividades de investigación o servicios que se llevan a cabo dentro de este laboratorio?

---

---

---

2.- ¿Cuáles son las actividades metrológicas que se llevan a cabo en su laboratorio?

---

---

---

3.- ¿El laboratorio está acreditado o certificado?

---

---

---

4.- ¿Por qué se optó o no por el camino de la acreditación o certificación?

---

---

---

5.- ¿Cuál es la importancia que tiene para usted el uso de las buenas prácticas

---

---

---

## Identificación de buenas prácticas metrológicas

Por favor marque con una X la respuesta que sea más acorde con su opinión, respecto a las afirmaciones que se enlistan a continuación:

	Práctica metrológica	Siempre	Casi siempre	Regularmente	Nunca
1	Utiliza instrumentos calibrados.				
2	Utiliza materiales de referencia certificados.				
3	Cuenta con un programa calendarizado de calibración.				
4	Se cumple el programa de calibración.				
5	Realiza una evaluación de sus proveedores externos de servicios de calibración para garantizar la confiabilidad de sus servicios.				
6	Cuenta con un programa calendarizado de mantenimiento de equipos e instrumentos de medida.				
7	Se cumple el programa de mantenimiento de equipos e instrumentos de medida.				
8	Cuenta con procedimientos adecuados para realizar las verificaciones intermedias a sus equipos e instrumentos que lo requieran.				
9	Cuenta con un programa de verificación periódica de los equipos e instrumentos.				
10	Se cumple el programa de verificaciones intermedias.				
11	Utiliza cartas de control para ver la tendencia en el comportamiento de sus equipos e instrumentos de medida y actuar oportunamente; así como evitar trabajo no conforme.				
12	Utiliza los certificados de calibración para hacer las correcciones en las mediciones que lo requieran.				
13	Tiene la cantidad de equipos e instrumentos de medida suficientes para realizar sus ensayos.				
14	Usa instrumentos de medida de la clase y exactitud adecuados para los ensayos que realiza.				
15	Utiliza métodos validados.				
16	Se utilizan adecuadamente los equipos, instrumentos de medida y materiales de referencia.				
17	Acostumbra limpiar los equipos e instrumentos de medida después de su uso de acuerdo a los procedimientos establecidos.				

Continúa...

... continuación

	<b>Práctica metrológica</b>	<b>Siempre</b>	<b>Casi siempre</b>	<b>Regularmente</b>	<b>Nunca</b>
18	Conserva los equipos, instrumentos de medida o materiales de referencia en sus estuches para protegerlos.				
19	Las mediciones se realizan en condiciones ambientales que no comprometen los resultados.				
20	El personal está capacitado para realizar los ensayos.				
21	Se tienen las instalaciones adecuadas para la realización de los ensayos y hacer mediciones confiables.				
22	Se cuenta con iluminación adecuada para realizar las mediciones.				
23	Usa accesorios de apoyo adecuados (cuando se requiere) para ver bien las indicaciones de los instrumentos.				
24	Energiza los instrumentos con la adecuada anticipación para obtener lecturas confiables.				
25	Espera el tiempo de estabilización del instrumento para registrar la lectura.				
26	El transporte y almacenamiento de los equipos, instrumentos y materiales de referencia se hace de acuerdo a un procedimiento.				
27	Mantiene el área de trabajo en condiciones de orden y limpieza, antes, durante y después de realizar los ensayos, de tal manera que le permitan registrar sus mediciones en condiciones adecuadas.				
28	Verifica los instrumentos inmediatamente cuando sospecha de indicaciones incorrectas.				
29	Participa periódicamente en ensayos de aptitud o comparaciones interlaboratorios.				
30	Tiene un registro o historial de cada uno de los equipos e instrumentos.				
31	Usa guantes para manipular equipos e instrumentos calibrados que lo requieran.				
32	Usa tierra física adecuada a los instrumentos que lo requieren, con la finalidad de hacer mediciones estables y confiables.				
33	Utiliza instrumentos y materiales de referencia con certificado vigente para verificar sus equipos e instrumentos.				
34	Verifica que los equipos, instrumentos y accesorios que se emplean en los ensayos estén limpios y en condiciones de uso, de tal manera que no comprometa la validez de los resultados.				

## Revisión por la dirección como apoyo a la implementación de buenas prácticas metrológicas

	Revisión por la dirección	Siempre	Casi siempre	Regularmente	Nunca
1	La revisión por la dirección establece y apoya políticas y procedimientos que promueven el uso de las buenas prácticas metrológicas.				
2	La revisión por la dirección fomenta que los informes y supervisión del personal del laboratorio estimulen el uso de las buenas prácticas metrológicas.				
3	A partir de los resultados de auditorías internas y evaluaciones de organismos externos llevadas a cabo en el laboratorio, la revisión por la dirección promueve la implantación de oportunidades de mejora y las lleva a cabo mediante la definición de buenas prácticas metrológicas.				
4	La revisión por la dirección considera la retroalimentación del cliente para la mejora de sus actividades, dentro del rubro correspondiente al aseguramiento de la calidad de las mediciones.				
5	Las acciones correctivas y preventivas que pueden afectar el resultado de las mediciones en los ensayos son apoyados por la revisión por la dirección haciendo énfasis en las buenas prácticas metrológicas.				
6	Como consecuencia del análisis de los resultados de comparaciones interlaboratorios o de los ensayos de aptitud, la revisión por la dirección promueve y apoya el uso de las buenas prácticas metrológicas.				
7	Cuando aumenta la cantidad de trabajo realizado, la revisión por la dirección promueve y apoya al personal para que se atiendan sin descuidar el uso de las buenas prácticas metrológicas.				
8	Cuando se revisan las quejas por los servicios proporcionados, la revisión por la dirección da seguimiento y promueve el uso de las buenas prácticas metrológicas.				
9	En la revisión por la dirección se promueve la mejora continua de los servicios usando las buenas prácticas metrológicas.				
10	En la revisión por la dirección, se promueve y apoya la capacitación y actualización del personal sobre el uso de las buenas prácticas metrológicas.				
11	La revisión por la dirección incluye y fomenta el uso de las tecnologías de información para mejorar las prácticas metrológicas.				

## Anexo 2

### Glosario de términos en metrología

**Incertidumbre de medida: NMX-Z-055-IMNC-2009.- Vocabulario Internacional de Metrología – Conceptos fundamentos y generales, términos asociados (VIM).**

*Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza.*

*Nota 1: La incertidumbre de medida incluye componentes procedentes de efectos sistemáticos, tales como componentes asociadas a correcciones y a los valores asignados a patrones, así como la incertidumbre debida a la definición. Algunas veces no se corrigen los efectos sistemáticos estimados y en su lugar se tratan como componentes de incertidumbre.*

*Nota 2: El parámetro puede ser, por ejemplo, una desviación típica en cuyo caso se denomina incertidumbre típica de medida, (o un múltiplo de ella), o una semiapertura con una probabilidad de cobertura determinada.*

*Nota 3: En general, la incertidumbre de medida incluye numerosas componentes. Algunas pueden calcularse mediante una evaluación tipo A de la incertidumbre de medida, a partir de la distribución estadística de los valores que proceden de las series de mediciones y pueden caracterizarse por desviaciones típicas. Las otras componentes, que pueden calcularse mediante una evaluación tipo B de la incertidumbre de medida, pueden caracterizarse también por desviaciones típicas, evaluadas a partir de funciones de densidad de probabilidad basadas en la experiencia u otra información.*

*Nota 4: En general, para una información dada, se sobre entiende que la incertidumbre de medida está asociada a un valor determinado atribuido al mensurando. Por tanto, una modificación de este valor supone una modificación de la incertidumbre asociada.*

En la norma NMX-CH-140-IMNC-2002 “Guía para la expresión de incertidumbre en las mediciones” se indica que la palabra “incertidumbre” significa duda. Incertidumbre de medida significa duda en la validez del resultado de una medición.

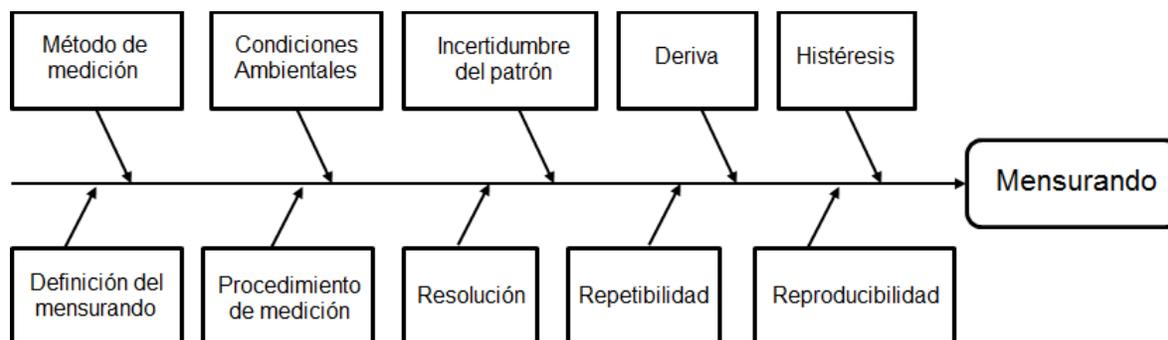
Por lo tanto, conocer exactamente el valor del mensurando es imposible y el resultado de una medición después de hacer las correcciones por los errores sistemáticos y de variables de influencia es solamente una aproximación ya que la incertidumbre nos indica la falta de conocimiento de ese mensurando.

La expresión del resultado de una medición está completa sólo cuando contiene tanto el valor atribuido al mensurando como la incertidumbre de medida asociada a dicho valor.

En general en una medición hay muchas posibles fuentes de incertidumbre, algunas de ellas descritas por la definición del propio mensurando, mientras otras pueden depender del principio de medición, del método y del procedimiento seleccionado para la medición, de las condiciones de medición, del personal encargado de efectuar la medición, etc.

En la figura 1 se ejemplifican algunas posibles fuentes de incertidumbre de medida.

**Figura 1. Fuentes de incertidumbre**



Elaboración propia.

**Trazabilidad metrológica: NMX-Z-055-IMNC-2009.- Vocabulario Internacional de Metrología – Conceptos fundamentos y generales, términos asociados (VIM).**

*Propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida.*

*NOTA 1. En esta definición, la referencia puede ser la definición de una unidad de medida, mediante una realización práctica, un procedimiento de medida que incluya la unidad de medida cuando se trate de una magnitud no ordinal o un patrón.*

*NOTA 2. La trazabilidad metrológica requiere una jerarquía de calibración establecida.*

*NOTA 3. La especificación de la referencia debe incluir la fecha en la cual se utilizó dicha referencia, junto con cualquier otra información metrológica relevante sobre la referencia, tal como la fecha en que se haya realizado la primera calibración en la jerarquía.*

*NOTA 4. Para mediciones con más de una magnitud de entrada en el modelo de medición, cada valor de entrada debiera ser metrológicamente trazable y la jerarquía de calibración puede tener forma de estructura ramificada o de red. El esfuerzo realizado para establecer la trazabilidad metrológica de cada valor de entrada debería ser en proporción a su contribución relativa al resultado de la medición.*

*NOTA 5. La trazabilidad metrológica de un resultado de medida no garantiza por sí misma la adecuación de la incertidumbre de medida a un final dado o la ausencia de errores humanos.*

*NOTA 6. La comparación entre dos patrones de medida puede considerarse como una calibración si ésta se utiliza para comprobar, y si procede, corregir el valor y la incertidumbre atribuidos a uno de los patrones.*

*NOTA 7. La ILAC considera que los elementos necesarios para confirmar la trazabilidad metrológica son: una cadena de trazabilidad metrológica ininterrumpida a un patrón internacional o a un patrón nacional, una incertidumbre de medida documentada, un procedimiento de medida documentado, una competencia técnica reconocida, la trazabilidad metrológica al SI y los intervalos entre calibraciones.*

*NOTA 8. Algunas veces el término abreviado “trazabilidad” se utiliza en lugar de “trazabilidad metrológica” así como para otros conceptos, como trazabilidad de una muestra, de un documento, de un instrumento, de un material, etc., cuando interviene el historial (“traza”) del elemento en cuestión. Por tanto, es preferible utilizar el término completo “trazabilidad metrológica” para evitar confusión.*

La trazabilidad metrológica es importante porque hace posible la comparación de la exactitud de las medidas a nivel mundial de acuerdo a un procedimiento estandarizado para estimar la incertidumbre de medida.

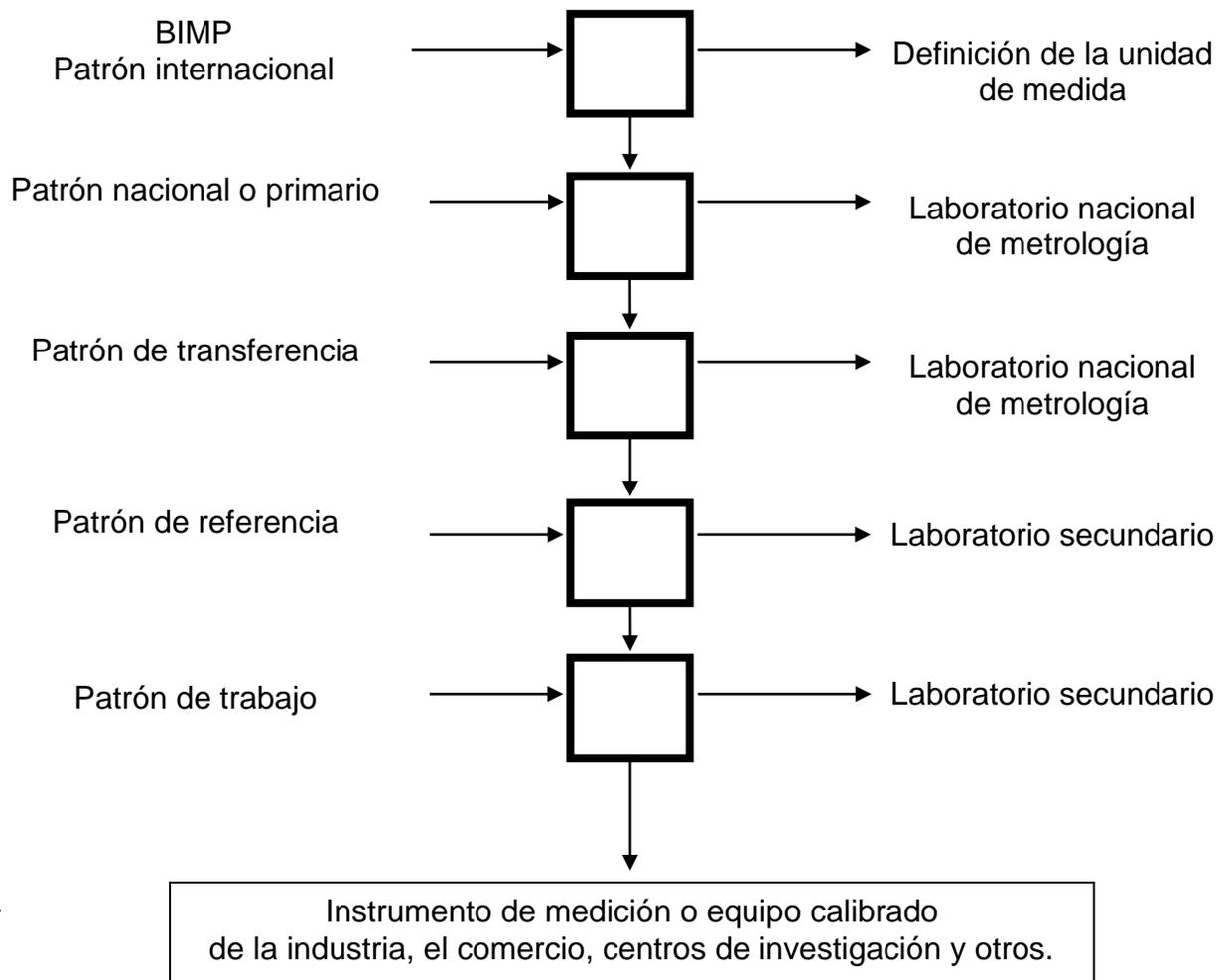
La trazabilidad en los resultados de medida es para asegurar su confiabilidad y es expresada por la incertidumbre de medida asociada a los resultados de la calibración y nos permite conocer los patrones nacionales o internacionales que dan inicio a la trazabilidad en nuestras mediciones.

La trazabilidad metrológica tiene su origen en patrones nacionales o internacionales que realicen las unidades del sistema internacional de unidades (SI) y continua con patrones de referencia, de transferencia y de trabajo hasta obtener el valor del resultado de una medición en un proceso industrial o de investigación.

La figura 2.- representa una carta de trazabilidad metrológica, la incertidumbre de medida aumenta en cada paso de esa cadena ininterrumpida de calibraciones.

NMX-CH-140-IMNC-2002 “Guía para la expresión de incertidumbre en las mediciones”.

**Figura 2. Carta de Trazabilidad metrológica.**



Fuente: Elaboración propia

## **Principales referencias técnicas utilizadas en la elaboración del cuestionario para la identificación de buenas prácticas metrológicas**

- CENAM-ema. (varios años). Guías técnicas de trazabilidad e incertidumbre en las mediciones (masa, presión, volumen, temperatura). México: ema.
- NMX-Z-055-IMNC-2009.- Vocabulario Internacional de Metrología– Conceptos fundamentales y generales, términos asociados (VIM).
- NMX-CC-10012-IMNC-2004. Sistemas de gestión de las mediciones- Requisitos para los procesos de medición y los equipos de medición.
- NMX-CH-140-IMNC-2002. Guía para la expresión de incertidumbre en las mediciones.
- NMX-EC-17025-IMNC-2006. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.
- NMX-CC-9001-IMNC: 2008. Sistemas de gestión de la calidad-Requisitos.
- NMX-EC-17043-IMNC-2010. Evaluación de la conformidad– Requisitos generales para los ensayos de aptitud.
- OIML D 10 Edición 2007 Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instruments. ILAC-G24 Edición 2007.
- NOM-008-SCFI-2002 Sistema General de Unidades de Medida.

## ANEXO 3

### Centros Públicos de Investigación

**Tabla 5. Centros Públicos de Investigación CONACYT**

	Centro de investigación	Programas de investigación	Líneas de investigación
	Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD).	Nutrición.	-Análisis químico de materias primas, alimentos y composición de alimentos. - Diagnóstico y asesorías sobre el estado de nutrición y salud de comunidades o grupos especiales.
		Ciencia y tecnología de alimentos.	-Análisis microbiológicos y parasitológicos, Análisis Fitopatológicos, Desarrollo de productos, Estudios de Adulteración, Bioquímica y biotecnología.
		Acuicultura y manejo ambiental.	-Patología y Nutrición de organismos acuáticos. -Biotecnología, Tecnología de cultivo, Análisis de aguas, sedimentos y efluentes.
		Alimentación y desarrollo.	-Socio economía de la alimentación y estudios estratégicos del agro y procesos rurales.
	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C (CIBNOR).	Acuicultura.	-Biología reproductiva, Fisiología y Biogenética, Genética, Patología, Nutrición.
		Planeación ambiental y conservación.	-Diversidad biológica y genética de la Península de BC.
		Ecología pesquera.	-Biotecnología pesquera.
		Agricultura de zonas áridas.	-Biotecnología vegetal, Microbiología aplicada, Toxicología de insecticidas, Física y química de suelos agrícolas.
	Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C. (CICESE).	Ciencias del mar y de la tierra.	-Acuicultura, Biotecnología marina, Geofísica aplicada, Geología, Oceanografía biológica, Oceanografía física y Sismología.
		Ciencias de la vida	-Acuicultura, Biotecnología marina, Microbiología, Geofísica aplicada y Oceanografía física.
		Ciencias de la información.	-Ciencias de la comunicación, Electrónica y telecomunicaciones.
		Ciencias físicas	-Electrónica y telecomunicaciones y Oceanografía física.

	<p><i>Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY).</i></p>	Bioquímica y biología molecular de plantas.	-Estrés abiótico y nutrición mineral, Interacción planta-patógeno y Morfogénesis y regulación genética.
		Biotecnología.	-Sistemas de bioproducción de proteínas recombinantes y Mejoramiento de tecnologías de propagación clonal in vitro.
		Ciencias del agua.	-Calidad del agua e Hidrogeología.
		Materiales.	-Materiales para aplicaciones especializadas, Materiales compuestos de matriz polimérica y Procesamiento de polímeros.
		Recursos naturales.	-Diversidad y evolución molecular de recursos fitogenéticos bajo manejo y selección humana y Cambio climático.
		Energía renovable.	-Cultivos energéticos, Biocombustibles (biodiesel, bioetanol, hidrógeno), Celdas de combustible, Efectos del ácido salicílico en plantas.
	<p><i>Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. (CIMAV).</i></p>	Física de materiales.	-Materiales funcionales, Deterioro de materiales, Integridad mecánica y Recubrimientos.
		Química de materiales.	-Beneficio de minerales, Materiales catalíticos y Materiales compuestos base polimérica.
		Medio ambiente y energía.	-Contaminación ambiental, Remediación ambiental y Energía.
	<p><i>Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. (IPICYT).</i></p>	Biología molecular.	-Agrobiología molecular, Biomedicina molecular, Biotecnología moderna.
		Ciencias ambientales.	-Cambio ambiental global.
		Geociencias aplicadas.	-Geofísica y Geología.

	<p><i>Centro de innovación aplicada en tecnologías competitivas (CIATEC).</i></p>	<p>Materiales.</p>	<p>-Polímeros, Diseño de materiales avanzados, Desarrollo y formulación de compuestos de hule, Procesado de plásticos y materiales compuestos, Reología de polímeros, suspensiones y emulsiones, Floculantes, Recubrimientos, Adhesivos.</p>
		<p>Ambiental.</p>	<p>-Remediación de sitios contaminados, Tecnología de tratamiento del agua y Valorización de residuos.</p>
		<p>Ingeniería.</p>	<p>-Instrumentación industrial, Electricidad, Ahorro de energía eléctrica, Determinación de riesgo eléctrico, Hidráulica y Neumática.</p>
	<p><i>Centro de investigación y asistencia tecnológica y diseño del estado de Jalisco, A. C. (CIATEJ).</i></p>	<p>Biotecnología.</p>	<p>-Biología molecular, Fermentación, Microbiología industrial y Desarrollo de Vacunas.</p>
		<p>Desarrollo y calidad de alimentos.</p>	<p>-Propiedades físicas, Desarrollo de nuevos productos y Procesos de conservación.</p>
		<p>Tecnología de alimentos.</p>	<p>-Procesos biotecnológicos.</p>
		<p>Tecnología ambiental.</p>	<p>-Manejo, Disposición y Tratamiento de residuos sólidos y líquidos y Toxicología ambiental.</p>
	<p><i>Centro de tecnología avanzada, A. C. (CIATEQ).</i></p>	<p>Maquinas y proceso para manufactura.</p>	<p>-----</p>
		<p>Medición e instrumentación.</p>	<p>-----</p>
		<p>Sistemas de monitoreo y control.</p>	<p>-----</p>
		<p>Transformación de plásticos.</p>	<p>-----</p>
		<p>Energías alternas.</p>	<p>-----</p>
		<p>Medición.</p>	<p>-----</p>

	<p><i>Centro de ingeniería y desarrollo industrial (CIDESI).</i></p>	Equipo electrónico para diagnóstico médico.	----- -----
		Equipo de control de energía eléctrica.	----- -----
		Metrología.	----- -----
		Prueba de materiales.	----- -----
		Ensayos no destructivos.	----- -----
		Mecánica de materiales y vibraciones.	----- -----
	<p><i>Centro de investigación y desarrollo tecnológico en electroquímica, S.C. (CIDETEQ)</i></p>	Ingeniería electroquímica.	-Reactores para la síntesis electroquímica de distintos compuestos y para el tratamiento de aguas.
		Energías alternativas.	-Celdas de combustible. -Dispositivos fotovoltaicos.
		Bio-electroquímica.	-Bio-catalizadores.
		Electrodepósitos.	-Diseño y estudio de aditivos, Baños y aleaciones
		Nanotecnología.	-Recubrimientos nanoestructurados, Electrocatalizadores, Sensores electroquímicos y Dispositivos electrocrómicos.
		Corrosión.	-Recubrimientos anticorrosivos orgánicos e inorgánicos, inhibidores de corrosión.
		Tratamiento de aguas.	-Tratamientos fisicoquímicos y biológicos de efluentes con contenidos orgánicos e inorgánicos.
		Remediación de suelos.	-Tecnologías fisicoquímicas y biológicas para suelos contaminados con sustancias orgánicas e inorgánicas.

	<p>Centro de investigación en química aplicada (CIQA).</p>	Síntesis de polímeros.	----- -----
		Procesos de polimerización.	----- -----
		Procesos de transformación de plásticos.	----- -----
		Materiales avanzados.	----- -----
		Plásticos en la agricultura.	----- -----
	<p>Corporación mexicana de investigación en materiales, S. A. de C. V. (COMIMSA).</p>	Ingeniería de manufactura metal-mecánica.	----- -----
		Ingeniería ambiental	----- -----
		Ingeniería en materiales.	----- -----
	<p>Centro de Investigaciones en Óptica, A.C. (CIO)</p>	<p>Diseño Óptico Infrarrojo Manufactura Óptica Colorimetría y fotometría Fibra Óptica Visión y Procesamiento digital de imágenes Interferometría Espectroscopia</p>	<p>Metrología Óptica, Metrología Óptica Biomédica, Óptica médica, Infrarrojo, espectroscopía y otros ----- -----</p>

	<p>Instituto de Ecología, A.C. (INECOL).</p>	<p>Ambiente y sustentabilidad Biodiversidad y sistemática Biología y conservación de vertebrados y otras</p>	<p>-Cambio climático global e impacto sobre las costas, Interacciones ecológicas entre humedales-lagunas-estuarios-océano, Sustentabilidad ambiental del desarrollo económico costero, Funcionamiento hidrológico de cuencas, monitoreo hidro-ecológico a largo plazo, sequía, relaciones agua-suelo-planta, pronóstico del tiempo y otros.</p>
	<p>Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE.)</p>	<p>Astrofísica Electrónica Óptica</p>	<p>-Análisis y optimización de elementos ópticos de fase. Diseño y fabricación de microsensores de flujo para cuidados neonatales.----- -----</p>
	<p>Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR).</p>	<p>Biología Bioquímica Taxonomía y sistemática</p>	<p>Diferenciación poblacional, taxonomía y sistemática de especies presentes en el pacífico Mexicano, caracterización bioquímica del metabolismo energético en embriones y larvas del huachinango----- -----</p>

**Tabla 6. Centros Públicos de Investigación SENER**

	Centro de investigación	Programas de investigación	Líneas de investigación
	<i>Instituto de Investigaciones Eléctricas.</i>	Sistemas eléctricos	Eficiencia energética y ahorro energético Eficiencia económica del sector
		Energías alternas	Fuentes renovables de energía
			Confiabilidad
			<i>Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).</i>
Explotación de campos en aguas profundas.	-Sistemas flotantes de producción, Sistemas submarinos de producción y Ductos, risers y umbilicales.		
Geofísica de exploración y explotación.	-Monitoreo del avance de los fluidos en yacimientos.		
Ingeniería molecular.	----- -----		
Integridad en ductos.	-Química ambiental e Ingeniería ambiental.		
Procesos de transformación.	-Procesos y Catalizadores.		
Recuperación de hidrocarburos.	-Caracterización dinámica del yacimiento. -Modelado numérico del yacimiento, Experimentación de procesos de recuperación de hidrocarburos, Recuperación secundaria de hidrocarburos y Recuperación mejorada de hidrocarburos.		

 <p>Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ).</p>	Aplicaciones de las radiaciones a los sectores industria, salud y agropecuario.	-Desarrollo de radiofármacos para la medicina nuclear, en la generación de nuevas variedades agrícolas y detección de fugas.
	Aplicaciones de los aceleradores de partículas.	-Investigación en la física de las partículas de alta energía y sus interacciones con la materia, Identificación de contaminantes. -Examinar piezas arqueológicas y Estudio de materiales en diferentes disciplinas científicas.
	Ciencias nucleares.	-Investigaciones sobre las reacciones nucleares, Métodos de análisis y Productos y servicios en relación con los núcleos de los átomos.
	Ecología y protección del medio ambiente.	-Calidad del aire, Rastreo y determinación de contaminantes en la atmósfera, en aguas y en suelos.
	Fuentes energéticas.	-Investigación y desarrollo en el aprovechamiento óptimo de las fuentes de energía convencional. Aprovechamiento sustentable de fuentes alternativas de energía.
	Gestión de desechos radiactivos.	----- -----
	Materiales nucleares y radiactivos.	----- -----
	Química y Radioquímica.	-Procesamiento químico de sustancias radiactivas y Propiedades y aplicaciones tecnológicas de sustancias radiactivas.
	Radiobiología y genética.	-Comportamiento y afectación de los organismos biológicos sujetos a radiaciones nucleares y Estudio de los efectos en la producción de radicales libres.
	Seguridad nuclear y radiológica.	-Manipulación y resguardo de materiales nucleares y radiactivos.
	Tecnología de reactores nucleares.	-Desarrollo de reactores nucleares de cuarta generación y Aprovechamiento de la energía nuclear de fusión

**Tabla 7. Centros Públicos de Investigación del IPN**

	Centro de investigación	Programas de investigación	Líneas de investigación
	Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (CeProBi).	Biotecnología.	-Cultivo de células vegetales, Biología molecular, Enzimas vegetales, Proteínas y Propagación <i>ex vitro</i> .
		Interacciones planta-insecto.	-Ecología química de insectos, Fitopatología y Entomología.
		Desarrollo tecnológico.	-Análisis instrumental y Planta piloto.
		Nutrición y alimentos funcionales.	-Estudio y aprovechamiento de moléculas.
	Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CIEMAD).	Biociencias e ingeniería.	Emisiones contaminantes atmosféricas y sus implicaciones en la calidad del aire, Nuevos materiales para la producción de combustibles de bajo azufre y absorbentes para reducción de la contaminación y Gestión de residuos sólidos urbanos y peligrosos.
	Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA).		Desarrollo y mejoramiento de productos y procesos de transformación de materias agropecuarias y alimenticias.
		Instrumentación Analítica y Biosensores.	Determinación, detección y monitoreo de procesos biológicos y biotecnológicos.
		Biología Ambiental.	Desarrollo, aplicación e innovación de sistemas biológicos para el tratamiento y recuperación de efluentes, remediación suelos y aire contaminados.
		Bioprocesos.	Integración de los procesos biológicos, Optimización de procesos, Biocatálisis y Separación, purificación y formulación de productos biotecnológicos.
		Biología Molecular.	Estudio de los procesos biológicos a nivel molecular en bacterias, hongos y plantas.

	<p><i>Centro de Biotecnología Genómica (CBG).</i></p>	<p>Biotecnología ambiental.</p>	<p>-----</p>
		<p>Biotecnología animal.</p>	<p>-----</p>
		<p>Biotecnología Experimental.</p>	<p>-----</p>
		<p>Biotecnología industrial.</p>	<p>-----</p>
		<p>Biotecnología vegetal.</p>	<p>-----</p>
		<p>Biomedicina molecular.</p>	<p>-----</p>
		<p>Medicina de la conservación. Interacción planta- microorganismo.</p>	<p>-----</p>
	<p><i>Centro de Investigación e Innovación Tecnológica (CIITEC).</i></p>	<p>Proceso de materiales.</p>	<p>-Metalurgia de polvos o pulvimetalurgia, Tratamiento y modificación de superficies y Recubrimientos.</p>
		<p>Control ambiental.</p>	<p>-Explotación de fuentes alternativas de energía y Estudios de aguas residuales.</p>
	<p><i>Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA).</i></p>	<p>Biotecnología.</p>	<p>-Biología molecular, Bioquímica, Biofísica, Microbiología. -Química de alimentos, Toxicología.</p>
		<p>Energías alternativas.</p>	<p>-Fuentes solar y nuclear.</p>
		<p>Procesamiento de materiales y manufactura.</p>	<p>-Tribología, Procesos industriales y Materiales.</p>
		<p>Materiales nanoestructurados.</p>	<p>-Catálisis, Óptica, Corrosión, Tribología, Magnetismo, Energías alternas.</p>

	<p><i>Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Durango (CIIDIR DURANGO).</i></p>	Microbiología.	-Análisis de agua y alimentos para consumo humano.
		Fitoquímica.	-Análisis fitoquímico y Cuantificación de fenoles, flavonoides y antioxidantes
		Ciencias ambientales.	-Análisis de aniones. -Análisis de cationes.
		Central de instrumentación.	-Análisis fisicoquímicos de agua para uso y consumo humano, Análisis fisicoquímicos de alimentos, Análisis fisicoquímicos de agua de riego y Análisis de perfiles cromatográficos.
		Biotecnología	-Análisis de composición , Análisis de composición fitoquímica, Análisis de actividad antioxidante
		Biología molecular.	-Análisis de expresión relativa de genes y Análisis de genotipificación por PCR.
	<p><i>Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Sinaloa (CIIDIR SINALOA).</i></p>	Acuicultura.	-Cultivo de Organismos Acuícolas.
		Biotecnología agrícola	-Biotecnología Agrícola.
		Medio ambiente	-Manejo y Conservación de Recursos Naturales.
	<p><i>Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías (CNMN).</i></p>	Microscopía opticaconfocal.	-----
		Preparación de muestras biológicas.	-----
		Resonancia magnética nuclear.	-----
		Espectroscopia de fotoelectrones de rayos X.	-----
		Microscopía electrónica de barrido y haz de iones enfocado.	-----
		Microscopía de fuerza atómica y nanoindentación.	-----
		Espectroscopías Raman C onfocal e Infrarroja.	-----
		Difracción de Rayos X para Películas Delgadas.	-----
		Elipsometría.	-----

	<p><i>Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav).</i></p>	<p>Biología celular.</p>	<p>----- ----- -----</p>
		<p>Biomedicina molecular.</p>	<p>----- ----- -----</p>
		<p>Bioquímica.</p>	<p>----- ----- -----</p>
		<p>Biotecnología y bioingeniería.</p>	<p>----- ----- -----</p>
		<p>Farmacología.</p>	<p>----- ----- -----</p>
		<p>Farmacobiología.</p>	<p>----- ----- -----</p>
		<p>Fisiología, biofísica y neurociencias.</p>	<p>----- ----- -----</p>
		<p>Genética y biología molecular.</p>	<p>----- ----- -----</p>
		<p>Química.</p>	<p>----- ----- -----</p>
		<p>Toxicología.</p>	<p>----- ----- -----</p>

**Tabla 8. Centros Públicos de Investigación de la UNAM**

	Centro de investigación	Programas de investigación	Líneas de investigación
	<p><i>Centro de Ciencias de la Atmósfera.</i></p>	Ciencias ambientales.	Aerobiología, Aerosoles atmosféricos, Citogénica ambiental, Contaminación ambiental, Espectroscopia y percepción remota, Físicoquímica atmosférica, Mutagénesis ambiental y Química atmosférica.
		Ciencias atmosféricas.	Bioclimatología, Climatología física, Física de nubes.
		Instrumentación.	-----
	<p><i>Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNYN).</i></p>	Nanoestructuras.	Estructura de superficies, Microscopia electrónica de barrido, Difracción de rayos x.
		Físicoquímica de nanomateriales.	Espectroscopias electrónicas de superficies, Materiales luminiscentes, Microscopia de fuerza atómica y Análisis químico por plasma.
		Nanocatalisis.	Preparación de muestras y Reactividad química.
		Materiales avanzados.	Películas delgadas, Preparación de muestras, Ferroelectricos y Electrónica.
	<p><i>Centro de Física Aplicada y Tecnológica Avanzada .</i></p>	Ingeniería molecular de materiales y nanotecnología.	Aplicaciones biológicas y médicas, Materiales nanoestructurados, Tecnología de alimentos y Desarrollo tecnológico.
		Nanotecnología.	Ingeniería molecular de materiales y nanotecnología y Aplicaciones biológicas y médicas

	<i>Centro de Geociencias.</i>	Geoquímica	Edafología, Estudios isotópicos (LEI), Geoquímica ambiental, Geoquímica de aguas, Geoquímica de fluidos corticales, Laboratorio móvil de rastreo de contaminantes en el subsuelo, Yacimientos minerales y Microscopía electrónica.
		Geofísica.	-----
		Geología.	-----
	<i>Instituto de Biotecnología.</i>	Medicina molecular y bioprocesos.	-----
		Microbiología molecular.	-----
		Ingeniería celular y biocatálisis.	-----
	<i>Instituto de Ciencias Físicas.</i>	Biofísica.	-----
		Ciencias de materiales.	-----
		Colisiones atómicas.	-----
		Espectroscopia.	-----
		Plasma.	-----
		Nanopolímeros y coloides.	-----
	<i>Instituto de Ingeniería UNAM.</i>	Ambiental.	-----
		Eléctrica y electrónica.	-----
		Telecomunicaciones.	-----
		Hidráulica.	-----
		Mecánica.	-----
	<i>Instituto de Investigaciones Biomédicas.</i>	Biología celular y fisiología.	-----
		Biología molecular y biotecnología.	-----
			-----

	<i>Instituto de Investigaciones en materiales.</i>	Polímeros.	----- -----
		Materiales metálicos y cerámicos.	----- -----
		Materia condensada y criogenia.	----- -----
		Mecánica de materiales.	----- -----
	<i>Instituto de Química.</i>	Bioquímica.	Bioestructuras, Bioquímica, Fisicoquímica , Ingeniería de proteínas .
		Fisicoquímica.	----- -----
		Productos Naturales.	Estudio químico de plantas.
		Química Inorgánica.	Catálisis, Química organometálica.
		Síntesis Orgánica.	Radicales libres. Catálisis. Síntesis de productos naturales.

	Centro de Ciencias Genómicas (CCG.)
	Centro de Investigaciones en Ecosistemas Campus Morelia (CIEco).
	Centro de Radioastronomía y Astrofísica (CRyA).
	Instituto de Astronomía.
	Instituto de Biología.
	Instituto de Ciencias de Mar y Limología.
	Instituto de Ciencias Nucleares.
	Instituto de Ecología.

	Instituto de Física.
	Instituto de Fisiología Celular.
	Instituto de Geografía.
	Instituto de Geofísica.
	Instituto de Geología.
	Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas.
	Instituto de Matemáticas.
	Instituto de Neurobiología

**Tabla 9. Centros Públicos de Investigación de la Secretaría de Salud**

Secretaría de Salud			
 INSTITUTO NACIONAL DE CANCEROLOGÍA	Instituto Nacional de Cancerología.	 Instituto Nacional de Pediatría	Instituto Nacional de Pediatría.
 INSTITUTO NACIONAL DE CARDIOLOGÍA IGNACIO CHÁVEZ	Instituto Nacional de Cardiología “Ignacio Chávez”.	 INSTITUTO NACIONAL DE PERINATOLOGÍA ISIDRO ESPINOSA DE LOS REYES	Instituto Nacional de Perinatología.
 Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zubirán	Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición “Salvador Zubirán”.	 INSTITUTO NACIONAL DE PSIQUIATRÍA RAMÓN DE LA FUENTE MUÑIZ	Instituto Nacional de Psiquiatría “Ramón de la Fuente Muñis”.
 INER	Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias “Ismael Cosío Villegas”.	 INSTITUTO NACIONAL DE REHABILITACIÓN INR	Instituto Nacional de Rehabilitación.
 Instituto Nacional de Medicina Genómica MEXICO	Instituto Nacional de Medicina Genómica.	 Instituto Nacional de Salud Pública 2012	Instituto Nacional de Salud Pública.
 Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía Manuel Velasco Suárez	Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía.		