

Centro Nacional de Metrología*

Víctor José Lizardi Nieto,** Norma González Rojano***

RESUMEN: La metrología juega un papel fundamental en el sostenimiento de una sociedad eficiente y tecnológicamente justa. El Centro Nacional de Metrología, CENAM, fue creado con el fin de apoyar al sistema metrológico nacional y entre sus funciones principales está el establecimiento y el mantenimiento de los patrones nacionales de medida y materiales de referencia certificados, mediante los cuales es posible asegurar la uniformidad entre las mediciones que se realizan en México. El avance de la tecnología y las exigencias de competitividad de los mercados fomentan el desarrollo tecnológico de los sectores productivos maduros, dinámicos y emergentes. La nanotecnología, considerada como una tecnología emergente, promete un gran potencial para aplicaciones y beneficios que pueden contribuir a la economía y a la protección de la salud y el ambiente en el país, pero también presenta retos en cuanto a la infraestructura metrológica que se requiere para sustentar su desarrollo. Este artículo muestra las actividades que realiza el CENAM por medio de su Programa de Metrología para las Nanotecnologías para atender de manera sistemática, las necesidades de medición en la nanoescala y plantea las perspectivas para el soporte de las nanociencias y para el aprovechamiento de las nanotecnologías.

PALABRAS CLAVE: Metrología, patrones de medida, nanotecnologías, mediciones, ProMetNano.

ABSTRACT: Metrology plays an important role in a sustainable, efficient and technological society. The Centro Nacional de Metrología, CENAM, was created to support the National Metrology System. The main objectives are to establish and maintain the National Measurement Standards and certify reference materials, to assure the uniformity of measurements in Mexico. Progress in technology and achieving a competitive market promote the technological development of dynamic, mature and emerging sectors. It is clear that emerging technologies like Nanotechnology have the potential of applications and benefits to the economy. On the other hand, support the environment and human health protection in the country as well. However, one important challenge is the availability of the metrological infrastructure required to underpin their development. This article describes briefly CENAM's Metrology for Nanotechnology Programme, established with the aim of responding in a systematic way to the nanoscale measurement needs and outline perspectives to support nanosciences and take advantage of nanotechnologies.

KEYWORDS: Metrology, measurement standards, nanotechnology, measurements, ProMetNano.

Recibido: 11 de abril de 2016. Aceptado: 10 de mayo de 2016.

* Se agradece al M. en C. Rubén Lazos, al Dr. Ismael Castelazo, al Dr. David Avilés, al M. en C. Felipe Hernández, a las Direcciones Generales, a la Dirección de Recursos Humanos por la información y comentarios proporcionados. Las fotos que ilustraron este documento fueron proporcionadas por el Dr. David Avilés, el M. en C. Felipe Hernández, el M. en C. José Antonio Salas y obtenidas del sitio web del CENAM.

** Director General del CENAM. Km 4.5 Carretera a los Cués, Municipio El Marques, Querétaro, C.P. 76246. Correspondencia: (vlizardi@cenam.mx), Tel. +52 (442) 211 0500 al 04 ext. 3082.

*** Coordinadora del Programa de Metrología para las Nanotecnologías del CENAM. Correspondencia: (ngonzale@cenam.mx), Tel. +52 (442) 211 0500 al 04 ext. 3916.

La medición está en todas partes jugando un papel vital en nuestras vidas. La metrología es la ciencia y la práctica de la medición y sus objetivos que las mediciones sean estables, comparables y coherentes. El logro de estos objetivos se realiza proporcionando la infraestructura para que las mediciones se realicen con instrumentos calibrados en referencia con los patrones nacionales (trazables). Trazabilidad metrológica es la propiedad del resultado de una medición 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. La medición trazable y confiable forma la base de nuestra sociedad moderna y tiene una función crítica en el apoyo a la competitividad económica, a la manufactura y al comercio, así como en la calidad de vida en donde también la salud y el ambiente influyen.

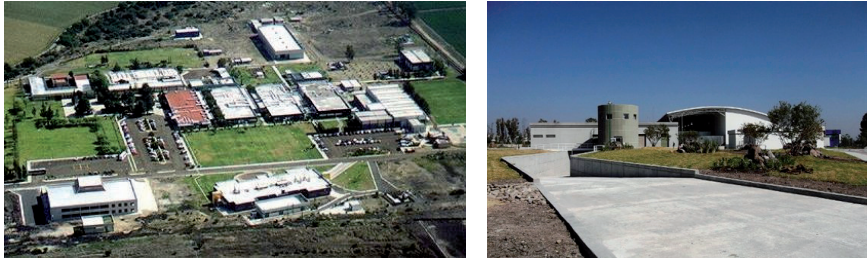
El Centro Nacional de Metrología (CENAM) forma parte del sector coordinado de la Secretaría de Economía y fue creado con el fin de apoyar al sistema metrológico nacional, como un organismo descentralizado, de acuerdo con el artículo 29 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

Es el laboratorio nacional de referencia en materia de mediciones, responsable de establecer y mantener los patrones nacionales de medida, necesarios para alcanzar la uniformidad y confianza en las mediciones de naturaleza física y química que se realizan en México de manera cotidiana, contribuyendo a la protección de la salud y la seguridad de la población, al cuidado del ambiente, a la equidad de las transacciones comerciales y a la competitividad de la industria nacional. Estos patrones propician que las mediciones dentro del país sean comparables y, gracias a su participación en comparaciones internacionales, contribuyen a que también lo sean con las correspondientes de otras economías con las cuales México tiene relaciones comerciales.

Los patrones nacionales constituyen la realización de las unidades del Sistema Internacional (SI) en México, acordadas con la finalidad de armonizar las mediciones entre países. Por otro lado, la diseminación de la exactitud de los patrones nacionales a las mediciones cotidianas se lleva a cabo mediante servicios de calibración ofrecidos por el CENAM a los laboratorios de alta exactitud como primera etapa de la diseminación, y que continúa por medio de otros laboratorios del Sistema Nacional de Calibración.

Otras actividades consisten en ofrecer servicios metrológicos como certificación y desarrollo de materiales de referencia, ensayos de aptitud, cursos especializados en metrología y asesorías. Mantiene un estrecho contacto con otros laboratorios nacionales y con organismos internacionales relacionados con la metrología, con el fin de asegurar el reconocimiento internacional de los patrones nacionales de México y, consecuentemente, promover la aceptación de los productos y servicios de nuestro país. El CENAM, siendo una entidad paraestatal, no lleva a cabo actividades regulatorias. La Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento establecen la responsabilidad de la Secretaría de Economía y otros organismos, como la

FIGURA 1. Instalaciones del CENAM en Querétaro.



Comisión Nacional de Normalización y la Procuraduría Federal del Consumidor, para aplicar las disposiciones establecidas por la ley.

La misión del CENAM es:

Apoyar los diversos sectores de la sociedad en la satisfacción de sus necesidades metroológicas presentes y futuras, estableciendo patrones nacionales de medición, desarrollando materiales de referencia y disseminando sus exactitudes por medio de servicios tecnológicos de la más alta calidad, para incrementar la competitividad del país, contribuir al desarrollo sustentable y mejorar la calidad de vida de la población.

Para llevarla a cabo, el CENAM cuenta con cuatro Direcciones Generales constituidas por 144 laboratorios cuyas actividades son de naturaleza técnica y científica, enfocados en metrología eléctrica, mecánica, física y de materiales, así como de una Dirección General de Apoyo en Servicios Tecnológicos. Actualmente cuenta con 295 empleados, de los cuales 153 son personal técnico correspondiente a metrologos y coordinadores científicos.

México no es ajeno al avance tecnológico global, en la última década se ha hecho evidente el uso y la aplicación de tecnologías habilitadoras como la nanotecnología por la industria y las instituciones académicas. Toda nueva tecnología requiere de una infraestructura de medición sólida y uniforme que proporcione la confianza en muchos aspectos de nuestra vida diaria, facilitando el desarrollo y la manufactura de productos innovadores, de alta calidad y confiables, que apoye a la industria a ser competitiva y sustentable en su producción, facilitando la eliminación de barreras técnicas al comercio, garantizando la seguridad y la eficacia de la salud, así como el avance de la investigación básica.

Desde 2005, se inició la oferta de servicios orientados a la atención de la demanda industrial del sector del cartón y papel en cuanto a problemas que ocurren alrededor de los 300 nm, considerados próximos a la nanoescala, 1 nm a 100 nm. Asimismo, ha participado en comparaciones internacionales coordinadas por organismos como el Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC), el Surface Analysis Working Group/ Consultative Committee for Amount of Substance: Metrology in Chemistry and Biology (SAWG/CCQM) y el Versailles Project on Advanced Materials and Standards (VAMAS),

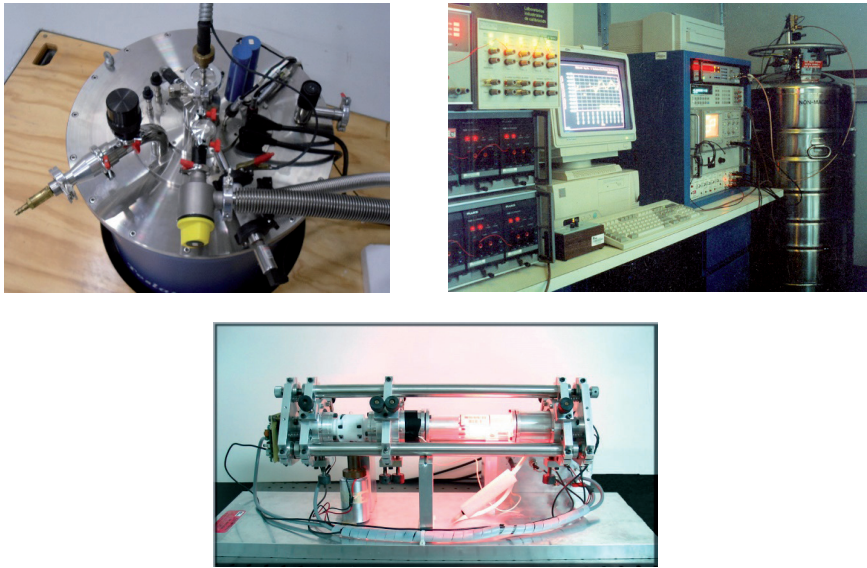
relacionadas con nanociencias y nanotecnología (NyN). A partir del 2007, participa en actividades nacionales e internacionales relacionadas con la normalización para las nanotecnologías, interviene en el Comité Técnico de Normalización Nacional en Nanotecnologías, coordina el Comité de Normalización Internacional Espejo del ISO/TC 229 *Nanotechnologies*.

En septiembre del 2013, el Consejo Directivo del CENAM aprobó el establecimiento del Programa de Metrología para las Nanotecnologías (ProMetNano) con el objetivo de atender de manera sistemática, las necesidades metroológicas del país, actuales y previsibles, en soporte a las nanociencias y para el aprovechamiento de las nanotecnologías. Este Programa se sitúa como uno de los elementos de un esfuerzo continuo y sinérgico entre las agencias regulatorias del gobierno federal, la industria y la comunidad científica nacional, encaminado al aprovechamiento de las nanociencias y las nanotecnologías en México, observando en todo momento la protección y preservación del ambiente, y de la salud de la población. El ProMetNano está conformado por un grupo de trabajo transversal a las especialidades de las cuatro Direcciones Generales del CENAM y cuenta actualmente con 4 coordinadores científicos y 6 metrologos que realizan actividades relacionadas con NyN.

Líneas de investigación, desarrollo e innovación relacionadas con la NyN

La primera actividad del CENAM en metrología está orientada al desarrollo, establecimiento, conservación y disseminación de patrones nacionales de las magnitudes eléctricas, físicas, mecánicas químicas y biológicas, que aseguran la confiabilidad metroológica de los servicios de medición y calibración que ofrece a sus usuarios. Su trabajo se ha orientado a conseguir que los patrones nacionales sean del tipo patrón primario, con el propósito de asegurar que el origen de la trazabilidad de los patrones nacionales esté en el CENAM. Actualmente cuenta con 68 patrones nacionales de medida establecidos y se ha logrado la reproducción de las unidades de longitud, el metro (m), de la intensidad luminosa, la candela (cd), y de la temperatura termodinámica, el kelvin (K); así como la adopción del prototipo internacional del kilogramo (kg) para la unidad de masa, además de la realización experimental de la unidad de tiempo, el segundo (s). Todas las anteriores son unidades base del Sistema Internacional (SI). También se logró la reproducción de las unidades derivadas del SI de tensión eléctrica, el volt (V), y de resistencia eléctrica, el ohm (Ω), mediante los efectos cuánticos Josephson y Hall, respectivamente. En la figura 2 se muestran algunos de sus patrones nacionales. El siguiente paso para el CENAM es ampliar la infraestructura metroológica a la escala nanométrica por medio del Programa de Metrología para las Nanotecnologías (ProMetNano). La medición en la nanoescala es un reto tecnológico y científico, pues se tienen que considerar los efectos nuevos y adicionales que

FIGURA 2. Patrones nacionales de resistencia eléctrica mediante el efecto Hall cuántico, de tensión eléctrica en corriente continua basado en el efecto Josephson, de longitud, respectivamente.



se presentan a este nivel, al igual que en el establecimiento de la trazabilidad metrológica y en la estimación de la incertidumbre de medida.

El ProMetNano se enfoca en cuatro actividades principales: mejora y desarrollo de nuevos patrones de medida/materiales de referencia; mejora y desarrollo de nuevos instrumentos/dispositivos de medida; desarrollo de procedimientos de medición, y transferencia de tecnología. Estas actividades se dirigen a: nanobjetos; película delgada, superficies estructuradas y dimensiones críticas; nanobiotecnología; modelamiento y simulación; normalización.

En la actividad de mejora y desarrollo de nuevos patrones de medida/materiales de referencia, se han iniciado las siguientes líneas de investigación:

- Desarrollo de materiales de referencia para caracterización dimensional/física de partículas en la nanoescala.

En la actividad de mejora y desarrollo de nuevos instrumentos/dispositivos de medida, las líneas de investigación iniciadas son:

- Desarrollo de un microscopio de fuerza atómica metrológico.
- Mediciones de desplazamiento nanométrico.

En la actividad de desarrollo de procedimientos de medición, las líneas de investigación son:

- Desarrollo de métodos para caracterizar nanobjetos.

FIGURA 3. Algunas técnicas para la caracterización de nanomateriales.



- Desarrollo técnicas para la medición de propiedades nanomecánicas por nanoindentación.

Colaboraciones y proyectos

Las actividades asociadas con el ProMetNano son alentadas para desarrollarse de manera colaborativa con otras instituciones nacionales o extranjeras con un enfoque sinérgico.

La estrategia científica de este Programa está dividida en aspectos operativos vinculados y temas prioritarios de investigación generales para el futuro. Entre los aspectos operativos, el Programa busca el aporte, asesoramiento y apoyo experto de personal del más alto nivel de la academia, el gobierno y la industria y establecer colaboraciones conjuntas con un esquema Universidad/Industria/Gobierno. El enfoque para proporcionar esta estrategia descansa en tres medidas: trabajar en colaboración con el sector empresarial y académico desarrollando programas comunes de investigación y compartiendo facilidades; fortalecer la investigación básica formando alianzas estratégicas con la academia; impulsar una mayor participación internacional en el desarrollo de las unidades del Sistema Internacional.

El CENAM tiene colaboración con institutos nacionales de metrología como el National Institute of Standards and Technology (NIST) de Estados

Unidos, el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania, el Institute for National Measurement Standards (INMS-NRC) de Canadá, el National Metrology Institute of Japan (NMIJ) de Japón, el Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS) de Corea del Sur, el National Institute of Metrology (NMI) de China, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de Argentina, el Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) de Brasil. El vínculo nacional en NyN tiene establecidas colaboraciones con el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) Unidad Querétaro, el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) y con la empresa Lotto Bio Nano Laboratories S.A. de C.V.

El personal técnico que participa en el ProMetNano forma parte de la Red Temática de Nanociencias y Nanotecnología del CONACyT.

En el tema de normalización para NyN, se ha participado en comparaciones internacionales en colaboración con el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) y el CINVESTAV Unidad Querétaro.

Infraestructura

El laboratorio de caracterización de materiales avanzados cuenta con un equipo de microscopía de barrido por sonda, un microscopio de barrido con electrones y la técnica de difracción de rayos X. Cuenta además con equipo de apoyo para la preparación de muestras, campana de extracción, material de vidrio y plástico al cual se le aplica un procedimiento especial de limpieza, también con un sistema *spin coating* para la aplicación de películas delgadas a sustratos. El ProMetNano también cuenta con el soporte del laboratorio de fabricación y pruebas de microdispositivos, el cual dispone de un módulo limpio clase ISO-5, con equipos como perfilómetro óptico para superficies, sistema para depósito por pulverización catódica con magnetrón y sistemas de procesamiento húmedo.

El CENAM tiene 144 laboratorios especializados en metrología para magnitudes físicas, eléctricas, químicas, biológicas y mecánicas a los cuales el ProMetNano tiene acceso. Los laboratorios de la Dirección General de Metrología de Materiales disponen de equipos de caracterización como espectroscopía infrarroja, UV-Vis-NIR, Micro-Raman, microsonda de barrido con electrones, analizadores de partículas, espectrómetro de fluorescencia de rayos X y espectrómetro de fluorescencia de rayos X por reflexión total. También se realizan técnicas de cromatografía de líquidos y cromatografía de gases ambas con diferentes detectores y también acopladas a espectrometría de masas de un cuadrupolo y triple cuadrupolo y con fuentes de ionización por ionización química a presión atmosférica y por *electrospray*, además de espectrometría de masas de alta resolución. Para la medición de materiales inorgánicos, esta Dirección General cuenta con el soporte instrumental que incluye espectrometría de masas de alta resolución con plasma acoplado inductivamente y un cuarto limpio para la preparación de muestras a niveles

FIGURA 4. Parte de la infraestructura de medición del CENAM.



de concentración de trazas elementales, espectrómetro de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente, espectrofotómetro de absorción atómica flama / horno de grafito / sistema de inyección en flujo con generador de vapor frío, determinadores de oxígeno-nitrógeno y carbono-azufre, y sistemas de titulación potenciométrica gravimétrica. Para la medición de propiedades térmicas de los materiales se dispone de un calorímetro diferencial de barrido y un analizador termogravimétrico. La figura 4 muestra algunos equipos que son parte de la infraestructura de medición.

La Dirección de Metrología Dimensional de la Dirección General de Metrología Mecánica posee láseres estabilizados en frecuencia, interferómetros láser y mesas ópticas antivibraciones, entre otros. La infraestructura de la Dirección de Óptica y Fotometría de la Dirección General de Metrología Física está habilitada con fuentes de emisión altamente estables, detectores ópticos de diversos tipos, sistemas de caracterización y transferencia automatizados, entre otros.

Instrumentos de protección de propiedad intelectual solicitados u otorgados

El ProMetNano en el CENAM se encuentra en una etapa germinal y en el proceso de establecer la infraestructura de medición para NyN se harán desarrollos que deriven en patentes y/o modelos de utilidad.

Docencia y formación de recursos humanos

El CENAM tiene también como una actividad importante, la transferencia de conocimientos en metrología a todos los niveles y sectores, con el fin de fortalecer el capital humano en investigación y desarrollo tecnológico mediante la realización de estancias profesionales, tesis de grado y posgrado en colaboración con instituciones académicas. Asimismo, mediante cursos especializados y brindando asesorías. El ProMetNano está abierto a contribuir en esta tarea fundamental y colaborar con las instituciones formadoras de recursos humanos para las NyN, a fin de incorporar en sus planes y programas los elementos de metrología requeridos.

Principales logros en el área de NyN

El ProMetNano, de reciente establecimiento en el CENAM, ha realizado los siguientes logros:

1. En la línea de desarrollo de materiales de referencia para la caracterización dimensional/física de partículas en la nanoescala se ha logrado formalizar una colaboración con la industria y la academia para obtener un material de referencia para el uso de los laboratorios públicos y privados.
2. Formalizar una colaboración con centros de investigación para impulsar el desarrollo de patrones e instrumentos de medida para la escala nanométrica.
3. Impulsar la participación del sector académico, industrial y de gobierno en actividades de normalización por medio de la contribución en diferentes foros.
4. Contribuir con las normas mexicanas voluntarias sobre nanotecnología vigentes, elaboradas por medio del Comité Técnico Nacional de Normalización en Nanotecnologías y del Comité de Normalización Internacional Espejo del ISO TC 229.

Perspectivas sobre el estudio de las NyN

El ProMetNano considera que el progreso tecnológico en los próximos años estará dirigido e impulsado por la necesidad de una economía sostenible de baja emisión de carbono, de un crecimiento intensivo en avances científicos, innovación e investigación y desarrollo, y del bienestar y la seguridad de los ciudadanos, en donde la nanotecnología podría tener un potencial significativo en el cambio social, económico y tecnológico para México. El cumplimiento de estas necesidades demandará la evolución continua, así como cambios decisivos en la ciencia de la medición y sus aplicaciones. Este proceso necesitará progresos en toda la infraestructura de medición que facilite la

comparabilidad de los resultados requeridos para demostrar el cumplimiento de especificaciones contractuales en el ámbito industrial, o de las regulaciones normativas en el ámbito social. Esta infraestructura incluye al Instituto Nacional de Metrología y sus organismos públicos de financiación asociados, proveedores de equipos y dispositivos, organismos de normalización, proveedores de servicios y calibración, usuarios académicos y universidades, la partes interesadas del sector industrial y regulatorio.

En la actualidad, México cuenta con un sistema de metrología, normalización y evaluación de la conformidad en apoyo a la competitividad de los sectores productivos nacionales y a su consolidación en los mercados internacionales, y con ello, al igual que otros países industrializados, dispone de uno de los instrumentos básicos para su desarrollo. Este sistema, además de favorecer la competitividad del país, brinda apoyo a los programas gubernamentales orientados a vigilar los intereses de la sociedad, entre los que se encuentran la protección al consumidor, de la salud, y del ambiente. Adicionalmente, este sistema constituye un elemento de soporte a la innovación y el desarrollo tecnológico del país. La efectividad de este sistema, así como la coherencia entre los elementos que lo conforman, se consiguen a partir de la confiabilidad y uniformidad de las mediciones que se realizan en estos elementos.

En particular, la componente metroológica de este sistema enfrenta el desafío del desarrollo de nuevas tecnologías de medición para la nanoescala, dados el tamaño y la complejidad de las estructuras en dicha escala. Las principales perspectivas del ProMetNano para NyN se resumen a continuación:

- En el avance actual de las NyN hay una necesidad significativa por instrumentos de medición apropiados a esta nueva demanda, que una vez desarrollados necesitarán de su calificación y calibración.
- Las técnicas de medición exactas, los patrones de medida y los modelos físicos para las estructuras a escala nanométrica requerirán también desarrollarse.
- La disponibilidad de métodos armonizados para la caracterización de nanomateriales utilizando técnicas de medición convencionales se vuelve una necesidad de generarlos, entre ellos los que utilizan técnicas de microscopía con electrones.
- Es necesario un entendimiento del estado del arte de la nanotecnología en las diferentes áreas de la metrología y el potencial de avance adicional que pueda tener, para establecer el vínculo a las unidades del Sistema Internacional.
- Se requiere tomar en cuenta la redefinición de las unidades del SI, pues se demandarán nuevos métodos de disseminación. Asimismo, es muy importante considerar los avances de la metrología cuántica. Esto proporcionará nuevas oportunidades para realizar las unidades base mucho más cerca de su punto de uso permitiendo acortar

sustancialmente las cadenas de trazabilidad, apoyar la investigación en las fronteras del desarrollo científico y tecnológico, y proporcionar una plataforma estable para el avance en los estudios básicos para probar las constantes y leyes de la física.

- Es deseable realizar la proyección de las nanotecnologías que estarán disponibles para los próximos diez años en México y entender cómo éstas facilitarán la metrología.
- Desarrollar una estrategia sinérgica con el sector académico, industrial y de gobierno para atender las necesidades y las expectativas de los usuarios en tanto las nuevas capacidades en nanometrología se vuelven disponibles.
- En el desarrollo y el aprovechamiento de nuevas tecnologías de medición para nanomateriales, se necesita impulsar el que sean más coordinados e incluyentes.
- El CENAM requiere desarrollar una estrategia sistemática para involucrarse más con la comunidad internacional en investigación en nanometrología.
- Para impulsar el vínculo de la academia con la metrología se buscará establecer una red de colaboradores para atraer y desarrollar recursos humanos.
- En el tema de normalización se continuará colaborando en la elaboración de normas obligatorias y voluntarias como apoyo sustentable y responsable del desarrollo de las NyN, buscando la participación del sector académico e industrial.

Sitios de interés relacionados con el CENAM

- Página institucional: <<http://www.gob.mx/cenam>>.
- Google maps: <<https://goo.gl/maps/vGTMz9A3Jvn>>.
- Página del ProMetNano: <<http://www.nanomet.mx>>.
- Facebook: <<https://www.facebook.com/CENTRONACIONALDEMETROLOGIA/>>.
- Twitter: <https://twitter.com/CENAM_Mexico>.