

# REFLEXIÓN SOBRE LOS CAMINOS DE LA INNOVACIÓN EN METROLOGÍA

## Experiencias y Propuestas para el CENAM

Salvador Echeverría Villagómez<sup>1,2</sup>; Carmen Marina Trejo Morales<sup>1,2</sup>; Héctor Nava Jaimes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Nacional de Metrología e <sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Celaya

Correspondencia: Tel. +(442) 2110550; correo-e: [saleche@cenam.mx](mailto:saleche@cenam.mx)

**Palabras clave:** Metrología, innovación, métodos de innovación, innovación abierta.

**Resumen:** El artículo es un ensayo sobre lo que los autores consideran los caminos posibles que la innovación en metrología pueden tomar en un Instituto Nacional de Metrología, en los laboratorios secundarios de calibración y pruebas y en las áreas finales de aplicación como la industria, el comercio y los servicios. Además de plantear los caminos que son generalmente reconocidos, el artículo intenta un análisis sobre los requerimientos que deberían darse para que cada uno fructifique, sus posibles impulsores y barreras, sus consecuencias o implicaciones y posibilidades reales en el entorno de un país en desarrollo.

### 1. INTRODUCCIÓN: SOBRE LA INNOVACIÓN

En la actualidad, después de 100 años de que Joseph Schumpeter enunciara por primera vez su tesis sobre innovación que después formalizó en su "Teoría del desarrollo económico" [1], la palabra innovación está en boca de todos, pero el concepto y su entendimiento en las diferentes mentes es aún muy heterogéneo y da origen a confusiones y malentendidos. El concepto de innovación en sí mismo es muy amplio y tiene relaciones con lo nuevo, con lo que no existía y ahora existe, con creatividad e invención, con investigación y descubrimiento, con diseño y desarrollo tecnológico. Pero en el contexto de teoría económica, el contexto de Schumpeter, esto no es suficiente y requiere las características de efectividad, trascendencia y permanencia.

#### 1.1 ¿Hay algo nuevo bajo el sol?

##### La innovación como transformación

Una primera reflexión obliga a pensar ¿qué es lo nuevo? En el Eclesiastés se puede leer "*Lo que ha llegado a ser, eso es lo que será, y lo que se ha hecho, eso es lo que se hará; y por eso no hay nada nuevo bajo el sol*" [2]. Si esto es cierto, la innovación en sentido absoluto no existe. En las mismas líneas, y entendiendo como creación el producir algo de la nada, las creencias religiosas del mundo indican que sólo Dios tiene la capacidad de crear.

La ciencia coincide en este punto, puesto que la 1ª Ley de la Termodinámica '*La materia y la energía no se crean ni se destruyen, sólo se transforman*', que tiene sus orígenes en la ley de la conservación de la masa enunciada por M. Lomonósov y A. Lavoisier [3] también indica que nada se crea, todo se transforma. Podemos decir entonces que lo nuevo consiste en transformar la realidad y generar nuevas combinaciones de lo existente. La capacidad para ello está conectada, indudablemente, con la creatividad, la capacidad de invención y de materialización de las invenciones en productos permanentes, así como en algunos casos, con la investigación y el desarrollo. Pero se requiere algo más.

#### 1.2 Innovación ¿moda o constante inherente? La innovación como propiedades emergentes

Una segunda reflexión es ¿desde cuándo existe la innovación? Desde la perspectiva de que lo nuevo es transformación o combinación de lo existente en algo no existente, todo lo que el género humano ha hecho más allá de lo natural ha sido, en su momento, innovación. Todos los elementos culturales y organizacionales desarrollados, del lenguaje a las formas de convivencia, también lo han sido. Las técnicas de supervivencia, de alimentación, vestido y transporte, de deportes y de guerra, de arte y de economía, en sentido amplio han sido innovaciones. La historia de la humanidad es, en cada cambio significativo que dio origen a mejoras trascendentes, una historia de innovación.

Y si se lleva esta idea aún más atrás se podría decir en cierto sentido que, en un universo evolutivo, la propia naturaleza está continuamente innovando con las mutaciones genéticas, la evolución de las especies, y aún la evolución de todo el universo material. La innovación en sentido amplio es, pues, lo inherente a la evolución y al universo.

En efecto, ontológicamente, no hay nada nuevo bajo el sol, pero en forma y estructura, el universo está en evolución continua, y también la humanidad. Las asociaciones nuevas de elementos preexistentes, los cambios morfológicos o en estructura que ocurren constantemente, dan origen a nuevas manifestaciones en el universo, a propiedades emergentes.

Una tesis de este ensayo es que la innovación consiste en la creación, descubrimiento o provocación de esas propiedades emergentes que son óptimos posibles, relativos o absolutos, en la región de diseño factible que nos ofrece el universo. Sería de esperar que estas propiedades emergentes, por tener cierta alineación con principios universales como las leyes físicas, son efectivas, trascienden y permanecen un tiempo considerable.

### 1.3 Criterios de delimitación: eficacia, trascendencia y permanencia

Entonces ¿todo cambio o transformación es innovación? Pero la única constante en el universo parece ser el cambio. Una tercera reflexión lleva a poner ciertos límites prácticos al concepto de innovación. Tanto la naturaleza está haciendo cambios constantes en el proceso evolutivo, como la humanidad en sus procesos culturales. Un criterio de delimitación que parecería relevante para dar a algo nuevo el título de innovación podría ser el que los cambios resistan la prueba del entorno y del tiempo. De los millones de mutaciones genéticas que ocurren constantemente, las que se podrían considerar innovaciones naturales serían aquellas que dan origen a una evolución, es decir a especímenes con mejores características que los previos, que se adaptan al ambiente, sobreviven, se multiplican y permanecen como especie. Los que no lo logran fueron sólo mutaciones genéticas fallidas.

Quizá el mismo criterio podría usarse para los cambios culturales. Más allá de juicios de valor

sobre las novedades creadas, otra vez la prueba del entorno y del tiempo parecería ser la prueba de fuego para determinar cuándo un determinado cambio o transformación se ha convertido en una verdadera innovación. En aspectos culturales profundos como el lenguaje, el experimento de la creación del Esperanto como primer o único lenguaje artificial por L. Zamenhof, et al, sería un buen caso de estudio [4].

Llevando este criterio a la situación actual, y enmarcándola, como lo hizo Schumpeter en su teoría del desarrollo económico [1]—traducida, a veces, como ‘desenvolvimiento’ para ser fieles a su idea, a diferencia de ‘crecimiento’ puramente cuantitativo—, es preciso definir el criterio de eficacia y permanencia. Puesto que la economía se mueve por el mercado y la competencia de productos y servicios, parece justificable que los criterios de eficacia y permanencia para que algo sea considerado innovación en este contexto, sea que eso nuevo que ha sido creado llegue al mercado y sobreviva en él. Parece ser un criterio absolutamente neo-liberal, pero en tanto no haya otro que dirima mejor la cuestión, prevalece en este contexto.

### 1.4 Innovación y su relevancia nacional

Finalmente, otra reflexión pertinente en esta parte inicial es: Si la única constante es el cambio y están ocurriendo innovaciones constantemente, tanto naturales y espontáneas como dirigidas ¿cuál es su relevancia para el desarrollo nacional? ¿Es preciso hacer algo al respecto?

En verdad, en el universo descrito algunos cambios son naturales y espontáneos, otros intencionados y dirigidos. Para los fines de la discusión teórica el origen no parece ser lo más relevante. También ocurre en la ciencia que aún descubrimientos por azar son valiosos si se sabe aprovecharlos; como lo dijo L. Pasteur “*El azar sólo favorece a los que están bien preparados*”. Pero ¿cuál es la relevancia para el país? La respuesta está en la clara relación de la innovación con la economía. Simplificando, es posible tomar los conceptos de calidad, productividad, innovación y su relación con la competitividad, otra palabra de moda que designa un concepto muy poco entendido. Deming planteaba [5] que la competitividad es el vértice superior de un triángulo que tiene en su base a la calidad (atractivo de mercado) y la productividad (bajo costo). La calidad, a su vez, tiene varias acepciones, siendo las principales: calidad como

cumplimiento de especificaciones (menor variabilidad) y calidad como exceder las expectativas del cliente o usuario (relacionada al diseño y a la innovación).

Elaborando en las tesis de Schumpeter, Michael Porter, hablando de competitividad, ha planteado que una empresa, un clúster o una región pueden competir en dos caminos principales o carreras [6]: a) La carrera de la productividad y b) la carrera de la diferenciación. En el primer camino, la carrera de la productividad, el ente productivo se especializa en lograr lo mismo cada vez de manera más eficiente y a menor costo. Eso lo hace competitivo en el corto plazo, pero los productos y servicios de siempre, tarde o temprano se vuelven *comodities*, el mercado se satura, los márgenes de ganancia se reducen, y se pierde la ventaja competitiva. En contraparte está el camino de la diferenciación, basado en la innovación: la ventaja competitiva se logra al producir algo diferenciado, algo único y atractivo para ciertos nichos de mercado. Aquí la ventaja competitiva no es el precio, sino el valor adicional del producto para el nicho elegido, que se logra mediante la creatividad, la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación.

Los países maquiladores como México están, hasta ahora, en la carrera de la productividad, tomando como paradigma de competitividad la reducción de costos y, por tanto, de precios. La presión y la amenaza de países más 'baratos' es constante y a veces el riesgo se materializa.

Buscar la productividad no es malo en sí, el problema es que en estos países se ha dado casi nulo énfasis a la innovación, al diseño, a la creatividad y al desarrollo. Un estrategia sana debería combinar un cuidado razonable sobre la productividad, y un énfasis constante en la innovación, con los consecuentes apoyos a la investigación y desarrollo tecnológico, a la formación de tecnólogos integradores y a la innovación organizacional y de mercados.

## 2. MARCO DE REFERENCIA: INNOVACIÓN EN METROLOGÍA

La metrología es y ha sido siempre una fuente de innovación en sí misma, y un puente para innovaciones en otros campos de la actividad humana.

La metrología surgió, muy probablemente, de dos inquietudes principales en el desarrollo de las civilizaciones:

**a) Utilitaria:** La necesidad práctica de cuantificar las cosas en el mundo.

**b) Altruista:** La necesidad intelectual de conocer por el sólo hecho de hacerlo.

Con el impulso de estas dos tendencias, la metrología ha encontrado evolutivamente dos caminos principales para la innovación:

**i) Híbrida.** La innovación en las aplicaciones de la industria, comercio, servicios, etc., motivada por nuevos desarrollos metrológicos.

**ii) Pura.** La innovación en la metrología en sí misma, las leyes físicas y químicas, constantes fundamentales, métodos, instrumentos y sistemas de medición.

### 2.1 Motivaciones para la innovación en metrología

En seguimiento al primer impulso o tendencia, la utilitaria, se podrían enmarcar los orígenes de la metrología en el conteo de piezas poseídas por un individuo o grupo, en la delimitación de áreas de posesión de tierra, en la cuantificación de masa y peso de artículos a comerciar, en la medición de los movimientos de los astros para identificar las estaciones propicias para siembra y en la medición del tiempo del día para la navegación, así como muchas otras aplicaciones prácticas.

En el segundo impulso o motivación, la altruista, se podrían enmarcar los orígenes de la metrología en la necesidad intelectual especulativa de las civilizaciones más avanzadas, como los Egipcios, los Mayas o los Griegos, por conocer, y al conocer cuantificar, los fenómenos del mundo en el que vivían, más allá de aplicaciones prácticas. En esta línea podrían enmarcarse, total o parcialmente, eventos como la invención del cero por los Mayas, o la obsesión por los números racionales de los Griegos, hasta la modelación numérica de los fenómenos naturales y la astronomía *per se*. En cuanto a los números irracionales ¿qué sentido material podía tener un número que no podía expresarse racionalmente?

## 2.2 Líneas de desarrollo para metrología e innovación

Entre ambas tendencias, entre las demandas sociales, económicas y comerciales y el afán especulativo intelectual de conocer, se motivaron a lo largo de la historia también líneas principales de innovación, en las cuales la metrología tiene un papel fundamental. Se mencionará primero la innovación en el campo mismo de la metrología, y segundo, la innovación en muchos otros campos en los que la metrología juega un papel relevante.

En la primera línea, la de la innovación en la metrología misma, surgieron las invenciones de las unidades de medida y los sistemas que los soportan. Cada una de las civilizaciones relevantes de la antigüedad desarrolló sus propios sistemas de medida, y en ello cada paso implicó una innovación. Desde entonces hasta la actualidad, ha habido investigación de la comunidad científica, en muchas ocasiones bordeando los límites del conocimiento científico del momento y, en otras, traspasándolos y haciendo contribuciones fundamentales a la física moderna y al entendimiento del mundo. Casos así han sido la invención de los láseres, de los relojes atómicos, de las fuentes de átomos y de los efectos cuánticos que han permitido evolucionar y seguir cambiando al Sistema Internacional de unidades [7].

## 2.3 Innovación en metrología en sí

Con los criterios planteados anteriormente, y en un sentido amplio, cada contribución nueva, eficaz y trascendente a la metrología, ha sido una innovación. Habría, entonces, innumerables innovaciones científicas y tecnológicas, teóricas y prácticas, de métodos y de instrumentos, etc. Muchos de estos conceptos y fenómenos asociados ya se estudian en los contextos de la investigación científica y el desarrollo tecnológico.

En el campo científico, cada nueva teoría o modelo que explica o ayuda a entender fenómenos específicos del universo es, en sentido amplio y en el campo teórico, una innovación. No obstante, en el sentido del desarrollo económico, no lo es. Para efectos del presente artículo, en congruencia con el concepto más generalizado, los productos de conocimiento fruto de la investigación, en sí mismos, no serán considerados innovación, sino resultados de investigación. El conocimiento y la ciencia no son patentables, son un patrimonio de la humanidad.

En el campo de la tecnología, las invenciones y los desarrollos tecnológicos sí pueden ser patentables, siempre y cuando sean materializables en un artefacto que demuestre características originales sobresalientes, las reivindicaciones de la patente. Es el artefacto, y no el conocimiento que lo hace posible, lo susceptible de protección de propiedad industrial. En este sentido, desarrollos tecnológicos que dan como fruto, por ejemplo, un nuevo método, pueden quedar sin protección industrial si no se materializan en algún proceso, sistema o dispositivo y no se patentan.

En claro, en el contexto del desarrollo económico, lo que se puede llamar innovación son aquellas contribuciones que logran ser efectivas en sus realizaciones materiales de productos, sean estos bienes o servicios, y que logran extender su aplicación, llegar a los usuarios y al mercado y lograr permanencia en él.

En el contexto económico, la principal vía para innovación en metrología en sí, con impacto económico directo, es la industria de la instrumentación en todas sus vertientes. Un sensor, un circuito procesador, un instrumento o sistema de medición, si es innovador, es un artefacto que materializa alguna ley física, algún método o desarrollo tecnológico no explotado previamente, o en una forma no explotada previamente y es, en principio, susceptible de apropiación con alguna forma de protección industrial. Las patentes, licencias, etc. son formas de explotación de esa propiedad industrial y la fabricación masiva de instrumentos o la implementación de métodos protegidos por esos derechos de propiedad son la forma en que la innovación se propaga en el mercado, con los consecuentes beneficios económicos para los innovadores.

Varios aspectos son aún discutibles porque prevalece cierta ambigüedad. En metrología primaria, desarrollos exitosos que logran establecerse como métodos aceptados, como por ejemplo las *mise en pratique* para la definición del metro [8], son fruto de la investigación científica y el desarrollo tecnológico y constituyen indudablemente contribuciones de amplia relevancia, también han logrado trascendencia y amplio uso en la comunicad metrológica internacional a nivel primario, pero no son susceptibles de protección industrial ni se traducen en beneficio económico directo para sus creadores. Si se acepta que, para que algo sea llamado innovación, debe cumplir los criterios de

nuevo u original y trascendente, con eficacia y permanencia en su uso por cierta comunidad, aún cuando por cualquier razón no sea susceptible de protección intelectual-industrial ni de explotación económica, esto también podría ser llamado innovación. Para efectos del presente artículo, se llamará a esto innovación no susceptible de protección intelectual-industrial.

No obstante, el beneficio económico indirecto de algunas de dichas realizaciones es muy amplio. Algo similar ocurre con algunas realizaciones en metrología secundaria, patrones de transferencia o instrumentos de trabajo. Puede haber contribuciones muy importantes, con impacto económico importante, pero indirecto, que no son objeto viable de apropiación industrial con patentes u otro modelo de propiedad industrial.

#### 2.4 Innovación híbrida con metrología

Como mencionado, otro camino en metrología para la innovación es cuando esta disciplina genera cambios y mejoras, no en los métodos y sistemas de medición mismos, sino en otros sistemas o procesos. En todo proceso de producción, siempre va aparejada una capacidad de proceso y sistemas que la realizan con una capacidad de medición y sistemas que la realizan, sin los cuales el proceso no podría mantenerse bajo control y no se lograrían las especificaciones del producto deseadas [9]. En muchas ocasiones, la principal restricción para mejorar o hacer más eficiente el proceso, son las capacidades de medición. En estos casos, un nuevo sistema de medición adaptado a la aplicación concreta (*fit for purpose*), puede lograr mejoras considerables y constituir una innovación híbrida proceso-medición. Si una innovación como ésta no va más allá de una sola aplicación, su *status* como innovación podría ser cuestionable. No obstante, si su grado de originalidad es grande y su impacto es trascendente, quizá, también podría ser llamada innovación no susceptible de protección industrial, aún cuando sea en un contexto muy diferente al mencionado en metrología primaria.

Si una innovación en procesos provocada por un uso original e innovador de la metrología es 'empaquetable' en un artefacto o sistema, entonces será patentable, explotable y exportable a múltiples aplicaciones, y será innovación susceptible de protección industrial.

El camino de la innovación híbrida entre sistemas productivos y sistemas de medición es un camino muy amplio y ofrece un enorme potencial de desarrollo. Sin embargo, es un camino que requiere una gran cercanía entre metrologos e ingenieros de proceso, así como colaboración y apertura de sus organizaciones. En este caso, aún más que en otros, el éxito sólo es posible si se aplica el modelo de creación conjunta de conocimiento [10, 11], que da origen a la innovación como una propiedad emergente al combinar las disciplinas.

### 3. HISTORIAL EN EL CENAM. APROPIACIÓN DE TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

El CENAM, en su corta pero relevante trayectoria, ya ha incursionado exitosamente en algunos aspectos de innovación y los ha puesto al servicio de la sociedad mexicana. A continuación se mencionan algunos aspectos de estos desarrollos.

#### 3.1 El contexto geográfico

Si se considera la innovación en un sentido laxo, y desde el punto de vista del alcance geográfico definido por el documento de la OCDE "*Guía para recolectar e interpretar datos de innovación*" conocido como el Manual de Oslo [12], puede decirse que la innovación a nivel local ocurre en el CENAM desde su mismo inicio. El mero hecho del establecimiento de los patrones nacionales de medición y sistemas de referencia, por primera vez establecidos y utilizados en México, ha constituido una innovación en los ámbitos organizacional y nacional.

No obstante, en un inicio no existía innovación tecnológica desde el punto de vista de aportaciones originales, ya que los patrones y sistemas establecidos fueron con equipos comerciales, o integraciones basadas en modelos copiados o adaptados de los Institutos Nacionales de Metrología (INMs) de otros países de los que se recibió entrenamiento y asistencia técnica.

Otros tipos de innovación, que el Manual de Oslo considera, pero naturalmente excluye de la innovación tecnológica de procesos y productos, son la innovación de mercados y la innovación organizacional. Estos tipos de innovación también han sido explorados en el CENAM. Al corto tiempo de su inauguración, y para lograr un mayor

acercamiento a los sectores usuarios, se creó el Programa MESURA [13], que constituye una innovación de acercamiento al mercado, y se innovó en el tipo de organización que le da sustento y opera con una estructura matricial flexible.

### 3.2 El camino de la apropiación tecnológica

Un alto nivel de apropiación tecnológica es preciso para acceder a las contribuciones propias y a la innovación. En el CENAM, desde su inicio se empezó a recorrer el camino de la apropiación tecnológica descrito en las referencias [14, 15]. La escala ahí propuesta considera 7 niveles y va desde el nivel "0" en el que el usuario adquiere el producto tecnológico y hace un uso ciego de él, pasa por diferentes estadios de aplicación, conocimiento, análisis, adaptación, síntesis e integración, hasta llegar a la apropiación de la tecnología en el nivel "6". En este nivel de apropiación se sabe el qué, cómo y por qué de los principios que hacen funcionar los sistemas y es posible reproducirlos a voluntad. El nivel "7" es cuando ya se genera tecnología propia. Este nivel superior no aparece de pronto, sino que se va manifestando de manera gradual en los niveles previos más altos.

En el CENAM no es permisible trabajar en el nivel "0" en el cual se hace uso ciego de la tecnología. El mismo requerimiento de estimar la incertidumbre de medición exige que se tenga un conocimiento profundo de los sistemas de medición y los fenómenos que los gobiernan, lo cual implica que, aún cuando no haya innovación, se haga un uso ilustrado del equipo, como mínimo en los niveles 2 y 3 de la escala. Muy pronto, en seguimiento a otros INMs de vanguardia, en el CENAM se empezaron a hacer modificaciones y adaptaciones al equipo y a buscar integraciones propias que superasen los niveles de desempeño ofrecidos por los sistemas comerciales. Se considera que actualmente el nivel de apropiación tecnológica de los sistemas de medición está, en muchos casos, entre los niveles 3 y 6. Una proporción significativa de los patrones y sistemas de referencia han sido integrados internamente, con parte de componentes comerciales y otra parte de componentes diseñados y fabricados en el Centro, lo cual implica no sólo el entendimiento teórico de las leyes que los gobiernan, sino también el conocimiento práctico de los múltiples detalles de diseño, desarrollo y manufactura que se requieren para su construcción. Esto es una excelente base para la innovación tecnológica, que ya se ha empezado a dar de manera natural en ciertos casos.

### 3.3 Logros de innovación en CENAM

#### a) Nivel primario

Como referido, un primer logro ha sido el establecimiento, por primera vez en el país, de los patrones nacionales y sistemas de referencia, aún cuando la mayoría sean a semejanza de los INMs de los países más desarrollados. Por tanto, esto sólo puede considerarse nuevo en el plano organizacional y nacional y no es susceptible de registro como propiedad industrial.

#### b) Nivel secundario

El nivel considerable de apropiación de tecnología sobre sistemas primarios y de transferencia logrado en CENAM ha servido de modelo para que muchos laboratorios secundarios copien la tecnología implicada y establezcan sus propios sistemas de medición. De hecho, muchos laboratorios han sido creados o ampliados por personal del CENAM que ha pasado a laborar en ellos, lo cual se considera una función social de alta relevancia. Los criterios de eficacia, trascendencia y permanencia descritos anteriormente se cumplen, pero los sistemas en general son integrados con equipo comercial y no son susceptibles de registro como propiedad industrial.

#### c) Nivel de usuarios en metrología

En este nivel las innovaciones han sido motivadas por la necesidad de satisfacer demandas concretas de empresas o sectores sociales e industriales específicos, como el de las telecomunicaciones, el automotriz o el alimentario, y han servido de base y detonador para su adopción, total o parcial, en varias empresas y organizaciones que están preparadas para aprovecharlas.

Un catálogo de las innovaciones desarrolladas al año 2009 en el CENAM fue editado por la Dirección General con ocasión del 15º Aniversario del Centro [16]. El catálogo muestra las cédulas de 21 innovaciones tecnológicas desarrolladas en las áreas técnicas. Este catálogo incluye sólo aquellos desarrollos que tienen contribuciones tecnológicas originales y que pueden, en todo derecho, ser llamadas innovaciones. No obstante, sólo en 2 ó 3 de ellas existe posibilidad de registro como propiedad industrial.

**d) Nivel de usuarios en procesos**

Como mencionado en la sección 2.4, el uso adecuado de la metrología puede ser la base para mejoras e innovaciones en procesos industriales. Esto ha sido demostrado en México mediante la interacción intensa del CENAM con los sectores usuarios, como la lograda mediante el programa MESURA citado.

En la operación del programa se cuenta con ejemplos de alto impacto en la mejora de procesos mediante la optimización de los sistemas de medición [17, 18, 19, 20]. La referencia [17] documenta el caso de la planta potabilizadora de agua del Sistema Cutzamala de la Comisión Nacional de Agua. En ella se logró una optimización del proceso mediante la eliminación de una operación, con la consecuente reducción de costos. Otros ejemplos de mejoras en procesos de dan en los sectores automotriz [18, 19] y electrónica de semiconductores [20].

**e) Creación Conjunta de Conocimiento**

Un aspecto relevante a considerar, sobre todo en los niveles c) y d), es el hecho de que la idea para muchas de estas innovaciones surge directamente en la comunicación intensa con los usuarios. Varias de las innovaciones de nivel c) referidas en el catálogo mencionado fueron concebidas en la intensa interacción entre los metrólogos del CENAM y los ingenieros de la industria provocada y coordinada con el programa MESURA. Como ejemplo de éstas se pueden mencionar un patrón híbrido de par torsional para la automatización e incremento de velocidad en los procesos de control de par en plantas automotrices, un sistema ultrasónico para la sustitución de pruebas destructivas por pruebas no destructivas en soldaduras automotrices, un sistema para calibración de acelerómetros por impacto y los sistemas de referencia de fibra óptica y radiofrecuencia para el sistema mexicano de telecomunicaciones [16].

De hecho, de las experiencias del programa MESURA surgió el concepto C3: Creación Conjunta de Conocimiento. El concepto C3, el de sinergia e integración son, en sí mismos, una afirmación de la innovación como propiedad emergente. Uniendo el conocimiento en metrología de los metrólogos del CENAM y el conocimiento de procesos de producción de los ingenieros de la industria, se logra

la sinergia, la integración y surgen las posibilidades más amplias de innovación.

Se han mencionado casos en la industria, pero existen igualmente casos en el comercio, los servicios, el cuidado del ambiente y otros. De hecho, la cantidad de problemas en estos campos que pueden ser abordados exitosamente mediante mejores sistemas de medición está aún explorándose y existe un enorme potencial de desarrollo.

Para ello, el Centro Nacional de Metrología es fundamental, así como el mantenimiento de sus capacidades y su desarrollo al nivel del país que deseamos tener.

**4. PERSPECTIVAS PARA LA INNOVACIÓN EN CENAM**

Por lo someramente descrito debe ser claro que la metrología es, efectivamente, una fuente de innovación en sí misma y un puente para la innovación en muchas otras áreas de la vida social.

En específico, la innovación tecnológica de procesos y productos debe verse como un proceso continuo en las organizaciones y, en cierta medida, estandarizado o facilitado por su estructura y sus sistemas.

Insumos	Procesos	Productos
Personal	Talento	Servicios
Recursos Materiales	Estructura Organizacional	Bienes
Recursos Intelectuales	Infraestructura	Activos tecnológicos
Información	Sistemas	Información
Relaciones	Cultura	Conocimiento

**Figura 1.** La innovación como proceso.

Con ocasión del 15º Aniversario del CENAM, la Dirección General lanzó una iniciativa para potencializar la innovación en el Centro, con lo cual se espera que los procesos que conducen a ella se fortalezcan y los frutos se multipliquen.

Se considera que algunos factores críticos a tomar en cuenta son:

- a) La innovación debe verse como una directriz intencionada en todas las actividades del Centro. Por lo descrito, este factor ya se ha dado con la

decisión de la Dirección General. Ahora falta su internalización consciente en todo el Centro y en cada uno de sus integrantes.

- b) La innovación requiere de estructuras, sistemas y cultura que faciliten y promuevan su ejecución. Entre los aspectos importantes están el facultamiento del personal, un nivel adecuado de flexibilidad para su acción y mecanismos de financiamiento pertinentes.
- c) La innovación por integración surge de la conectividad intensa entre disciplinas. El CENAM cuenta con la gran ventaja de su interdisciplinariedad y es preciso fortalecer la conectividad entre sus miembros como complemento indispensable de la alta especialización, preferentemente orientada por problemas, procesos, casos o sectores.
- d) La innovación se motiva principalmente en la interacción con los usuarios, sus necesidades y su problemática. Es preciso fortalecer los mecanismos de interacción coordinada entre los grupos internos y los usuarios externos.
- e) La innovación en toda su extensión, que se materializa en productos tecnológicos susceptibles de ser protegidos con propiedad industrial, en metrología tiene su expresión más clara en la industria de los sensores, los sistemas de medición y la instrumentación. Es preciso explorar las opciones de asociación tecnológica-comercial con esta industria y promoverla.

### Consideraciones preliminares

- a) El CENAM, como organismo público, está cumpliendo su misión de realizar y promover la innovación en diferentes niveles: organizacional, sectorial y nacional.
- b) No todas las innovaciones del CENAM son susceptibles de protección como propiedad industrial y un porcentaje reducido es el que puede alcanzar esta meta. Su potencial puede ampliarse si se logran asociaciones eficaces con la industria de la instrumentación.
- c) Las innovaciones no susceptibles de protección como propiedad industrial ni de explotación económica juegan, no obstante, un papel muy importante como catalizadores del proceso económico en el país, como es el caso de los laboratorios secundarios, que son empresas de servicios de base tecnológica.

### REFERENCIAS

- [1] Schumpeter, J.A., *Teoría del desenvolvimiento económico*, Fondo de Cultura Económica, 1944.
- [2] Eclesiastés, Cap. 1, Ver 9.
- [3] Lavoisier, A-L., *Traité élémentaire de chimie*, 1789.
- [4] Zamenhof, L.L., *Unua Libro*, Varsovia, 1887.
- [5] Deming, E., *Calidad, Productividad y Competitividad*, Ed. Norma, 1990.
- [6] Porter, M., *Estrategia Competitiva*, Ed. Norma, 1998.
- [7] Maiman, T.H. *Stimulated Optical Radiation in Ruby*. Nature. 187, 4736, 1960, p. 493–494.
- [8] BIPM, *Mise en pratique for the definition of the meter*. <http://www.bipm.org/en/publications/mep.html>.
- [9] Echeverría Villagómez, J.S., *Capacidad de medición vs capacidad de proceso*, Simposio CENAM, Abril 2000.
- [10] Echeverría Villagómez, J.S., Motzko, Ch., *Modelo de gestión para potenciar la metrología mediante núcleos de conocimiento*, Memorias Simposio CENAM, Octubre 2004.
- [11] Echeverría Villagómez, J.S., Trejo Morales, C.M., *Beyond traceability: Knowledge Transfer from NMIs, the Mexican case*, NCSLI Proceedings, SLC, UT, USA, 2004.
- [12] OCDE, Oslo Manual: Guide for collecting and interpreting innovation data, 3<sup>rd</sup> Edition, 2003.
- [13] Echeverría Villagómez, J.S., Nava Jaimes, S., *MESURA Network: A way of bringing together suppliers and users of metrological services*. Proceedings of PTB-IMEKO Conference, Braunschweig, Germany, August 1998.
- [14] Echeverría Villagómez, J.S., *Tecnología e Innovación: Productos Sociales*. Academia de Ingeniería, S.L.P., México, Mayo 2003.
- [15] Echeverría Villagómez, J.S., *Reflexión sobre el futuro de la ingeniería en México*, Academia de Ingeniería, México, Enero 2007.

- [16] Nava Jaimes, H., Cajica Gómez, C., *Innovaciones tecnológicas en el CENAM como resultado de su interacción con la industria*. Septiembre 2009.
- [17] Trejo Morales, C.M., Echeverría Villagómez, J.S., Montoya Ayala, A. *Aseguramiento metrológico de la planta potabilizadora de agua del sistema Cutzamala*. Memorias Simposio CENAM, Octubre 2004.
- [18] Echeverría Villagómez, J.S., Rivera Arvizu, M.G., Hernández Rivas, M., Experience in the implementation of the laboratory metrological structure of an Automotive Company to meet the ISO/IEC 17025 Standard, Proceedings NCSLI W&S, Tampa, FL, USA, 2003.
- [19] Echeverría Villagómez, J.S., Moreno Chimal, A., Lara Rivero A., *Coevolución de las capacidades metrológicas del CENAM y el sistema metrológico nacional con sus sectores usuarios*, Memorias Simposio CENAM, Octubre 2008.
- [20] López J.C., Trejo Morales, C.M., Echeverría Villagómez, J.S., Villa Diharce, E., *Impacto de la metrología en los procesos de la industria de semiconductores*, Memorias Simposio CENAM, Octubre 2008.