



CONSEJO SUPERIOR  
DE METROLOGÍA

# La metrología científica en España y en su entorno europeo

Elaborado por la Comisión de Laboratorios Asociados  
del Consejo Superior de Metrología con la  
colaboración de la Secretaría Técnica del Consejo

Tres Cantos, Septiembre 2007  
Rev. 1

© Centro Español de Metrología, C/ Alfar 2, 28760, Tres Cantos, Madrid.  
Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento, cualquiera que sea el medio o tecnología que se utilice, sin permiso escrito del Centro Español de Metrología.

Como excepción se autorizan:

1. La reproducción en papel para uso personal de los estudiantes registrados.
2. Las citas breves, siempre con expresión de la fuente, en publicaciones divulgativas, docentes, científicas o profesionales.

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE .....</b>	<b>I</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>III</b>
<b>PREFACIO.....</b>	<b>IV</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>V</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2 BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LA METROLOGÍA EN ESPAÑA.....</b>	<b>5</b>
<b>3 IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DE LA METROLOGÍA.....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Impacto Social .....</b>	<b>10</b>
3.1.1 Comercio .....	10
3.1.2 Salud.....	11
3.1.3 Defensa y Seguridad.....	12
3.1.4 Medioambiente.....	14
3.1.5 Desarrollo industrial.....	15
3.1.6 Control y Supervisión de Recursos .....	17
<b>3.2 Impacto económico.....</b>	<b>18</b>
<b>4 PANORAMA DE LA METROLOGÍA INTERNACIONAL .....</b>	<b>22</b>
<b>4.1 METROLOGÍA INTERNACIONAL .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2 METROLOGÍA EN EUROPA .....</b>	<b>25</b>
4.2.1 EUROMET .....	25
4.2.2 EA .....	27
4.2.3 EUROLAB .....	28
4.2.4 EURACHEM .....	28
4.2.5 COOMET .....	29
<b>4.3 CAMBIOS ESTRUCTURALES EUROPEOS ACTUALES .....</b>	<b>29</b>
4.3.1 EURAMET e.V.....	32
<b>5. PANORAMA DE LA INFRAESTRUCTURA METROLOGÍCA EN ESPAÑA.....</b>	<b>37</b>
<b>5.1 PATRONES NACIONALES. LABORATORIOS PRIMARIOS .....</b>	<b>38</b>
5.1.1 Centro Español de Metrología.....	40
5.1.2 Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA).....	42

5.1.3	Instituto de Física Aplicada (IFA-CSIC).....	44
5.1.4	Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes, del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (LMRI-CIEMAT) .....	45
5.1.5	Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA).....	47
5.1.6	Taller de Precisión y Centro Electrotécnico de Artillería (TPYCEA) .....	49
5.1.7	Laboratorio Central Oficial de Electrotécnica (LCOE) .....	50
5.1.8	Centro Nacional de Sanidad Ambiental (Instituto de Salud Carlos III) .....	52
5.1.9	Recursos humanos e inversiones.....	54
<b>5.2</b>	<b>DISEMINACIÓN DE LOS PATRONES NACIONALES .....</b>	<b>59</b>
5.2.1	Metrología.....	60
5.2.2	Acreditación .....	61
5.2.3	Normalización y certificación .....	69
<b>6</b>	<b>ESTRATEGIA A MEDIO Y LARGO PLAZO.....</b>	<b>71</b>
<b>6.1</b>	<b>Políticas Públicas.....</b>	<b>72</b>
6.1.1	Plan nacional de I+D+i.....	72
6.1.2	VII Programa Marco Europeo de I+D. Art. 169 .....	73
<b>6.2</b>	<b>Estructura y organización de la metrología .....</b>	<b>74</b>
<b>6.3</b>	<b>Formación y divulgación de la Metrología .....</b>	<b>77</b>
6.3.1	Formación .....	77
6.3.2	Divulgación.....	78
<b>6.4</b>	<b>Investigación.....</b>	<b>79</b>
<b>6.5</b>	<b>Transferencia de conocimientos.....</b>	<b>81</b>
<b>6.6</b>	<b>Inversiones y Financiación .....</b>	<b>83</b>
<b>6.7</b>	<b>Áreas prioritarias.....</b>	<b>85</b>
6.7.1	Desarrollo y mantenimiento de patrones nacionales .....	85
6.7.2	Prioridades EMRP.....	85
6.7.2.1	Grandes retos en metrología multidisciplinaria .....	86
6.7.2.2	Grandes retos en metrología fundamental.....	88
6.7.2.3	Metrología aplicada y disciplinas específicas.....	88
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>93</b>
<b>7.1</b>	<b>De carácter previo .....</b>	<b>93</b>
<b>7.2</b>	<b>De orden organizativo.....</b>	<b>94</b>
<b>7.3</b>	<b>De orden económico.....</b>	<b>95</b>
<b>7.4</b>	<b>En cuanto a los desarrollos futuros.....</b>	<b>96</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>98</b>
	<b>ACRÓNIMOS.....</b>	<b>101</b>
	<b>SITIOS WEB .....</b>	<b>103</b>

## **ANEXOS**

ANEXO I: [CONVENCIÓN DEL METRO: CIPM; BIPM](#)

ANEXO II: [EUROMET: LA SITUACIÓN ACTUAL Y LOS RETOS AL FUTURO](#)

ANEXO III: [DOCUMENTO DE FUNDACIÓN DE EURAMET](#)

ANEXO IV: [PATRONES NACIONALES](#)

ANEXO V: [PROYECTOS DE EUROMET](#)

ANEXO VI: [DATOS RELEVANTES EN MATERIA METROLÓGICA](#)

ANEXO VII: [RESULTADOS DE PROSPECTIVA IMERA](#)

## **PREFACIO**

Es objeto del presente documento dar cumplimiento al acuerdo del Consejo Superior de Metrología que, en su reunión constitutiva de tres de octubre de 2006 y a petición de los representantes de la Comisión de Laboratorios Asociados, acordó dedicar atención especial en la próxima reunión del Pleno de primavera de 2007, a la Metrología Científica.

El documento pretende proporcionar a los miembros del Pleno la información necesaria para ubicar el papel de la Metrología científica en el desarrollo del país en su entorno europeo, presentar la situación actual española, y orientar sobre las líneas estratégicas a abordar a medio y largo plazo.

## **RESUMEN EJECUTIVO**

El Documento responde al acuerdo de la reunión constitutiva del Pleno del Consejo Superior de Metrología (CSM) que encargó a la Comisión de Laboratorios Asociados (CLA) un informe sobre la Metrología Científica en España.

Tras una reseña histórica el informe muestra la importancia social y económica de la metrología. En particular ilustra y pone ejemplos sobre su incidencia en el comercio, la salud, la seguridad, el medioambiente y los recursos económicos. No se dispone en España de estudio alguno que evalúe el impacto económico de la metrología. Con diversos métodos y alcance se han elaborado estudios por el NIST (Estados Unidos), el DTI (Reino Unido), el NCR (Canadá), la Unión Europea y el CIPM (Comité Internacional de Pesas y Medidas. En referencia a los dos últimos se estima que:

1. La relación beneficio coste del gasto en metrología es del orden de 3 a 1.
2. Hay razones económicas para que los Institutos Nacionales de Metrología (INM) <sup>1</sup>sean financiados por fondos públicos.
3. Los INM generan spillovers que favorecen la competitividad, la innovación y el desarrollo industrial al tiempo que mejoran la calidad de la vida en aspectos como la salud, la seguridad, la protección de los consumidores y el medio ambiente.
4. La metrología es fundamental para mantener el comercio leal.
5. Se presentan necesidades emergentes en temas tales como las nanotecnologías, el software, la química, las biotecnologías y la utilización de los fenómenos cuánticos.

El estudio proporciona un panorama de la metrología internacional con especial referencia a la europea y en relación tanto con los organismos internacionales

---

<sup>1</sup> En adelante, cuando se hable de INM debe entenderse que en España se refiere al conjunto formado por el CEM y los Laboratorios Asociados.

como con la situación de la metrología española en relación con otros países de la UE.

En cuanto al primer tema conviene destacar la constitución, en enero de 2007, de EURAMET que es la organización metrológica regional europea y que, además de los trabajos tradicionales (mantenimiento de patrones nacionales por intercomparación, recomendaciones de carácter científico o estratégico y difusión de información) pretende ayudar a la racionalización de los gastos de I+D de los miembros favoreciendo la colaboración en proyectos, evitando solapamientos, ayudando a definir las prioridades europeas y solicitando financiación del séptimo Programa Marco de la UE.

Por lo que se refiere a la comparación de los recursos dedicados en España en relación con otros países el informe proporciona información sobre el tamaño de los INM de Alemania, Francia, Reino Unido y Suiza. La dimensión relativa del esfuerzo (medido en número de personas) de estos países frente al conjunto del CEM y los Laboratorios Asociados es, respectivamente, de 10,6; 6,1; 4,3 y 1,2.

En cuanto a la estructura de la metrología científica en España el documento facilita información sobre el Centro Español de Metrología (CEM) y los Laboratorios Asociados (LLAA). En particular:

1. Aunque el CEM es el organismo responsable de la metrología científica se optó, en su día, por incorporar la figura de los LLAA con el objeto de aprovechar el conocimiento existente. Se han nombrado 7 LLAA que desarrollan y mantienen patrones en tiempo y frecuencia (ROA), intensidad luminosa (IFA-CSIC), atenuación en alta frecuencia (TPYCEA), humedad (INTA), alta tensión eléctrica (LCOE), radionucleidos (LMRI-CIEMAT) y concentración de ozono (ISCIII).<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> ROA: Real Observatorio de la Armada. IFA-CSIC: Instituto de Física Aplicada del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. TPYCEA: Taller de Precisión y Centro Electrotécnico de Artillería. INTA: Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial. LCOE: Laboratorio Central Oficial de Electrotecnia. LMRI-CIEMAT: Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. ISCIII: Instituto de Salud Carlos III.

2. Se relacionan los patrones nacionales responsabilidad de los diferentes agentes.
3. Se evalúan los recursos humanos disponibles y las inversiones realizadas: el conjunto CEM + LLAA ocupa 129<sup>3</sup> personas expertas en metrología de las que 88 son titulados superiores. El promedio en los últimos cuatro años de la inversión anual del conjunto en equipamiento metrológico es de 2 837 k€ de los que 63 % corresponde al CEM.

El documento se refiere, también, a la necesidad, complementaria de la metrología, de la normalización y la acreditación y las entidades que en España se dedican a estos temas (Asociación española de Normalización, AENOR y Entidad Nacional de Acreditación, ENAC respectivamente). A través de la acreditación (que requiere trazabilidad a patrones nacionales) se proporciona información sobre el número de laboratorios de servicios o de empresas que requieren directamente servicios metrológicos para este fin.

El desarrollo de la actividad científica y tecnológica demanda patrones y métodos de medida cada vez más precisos, en un amplio y creciente rango de medidas y magnitudes. Para dar respuesta a esta necesidad se propone.

1. Incluir a la metrología como campo específico en los planes nacionales de I+D.
2. Utilizar las posibilidades del séptimo Programa Marco de la UE con implicación de universidades, centros de investigación y empresas.
3. Utilizar todas las posibilidades del CSM que debe asumir un papel proactivo en esta cuestión.

Se propone incrementar los esfuerzos en formación a través de la revisión de los textos de la enseñanza media adecuándoles al Sistema Internacional (SI) y a convenios entre el CEM y las universidades. Realizar actividades divulgativas.

---

<sup>3</sup> No incluye personal administrativo o en otras actividades.

Es fundamental promover la colaboración entre el CEM y los LLAA con los centros de investigación, la universidad y la industria. Para ello es conveniente facilitar la permeabilidad de conocimientos y de investigadores, habilitar mecanismos más flexibles para la contratación de investigadores e implicar a las autoridades territoriales con capacidad de activar acciones de fomento industrial. Resulta conveniente articular políticas sobre la propiedad intelectual que incentiven a los investigadores al tiempo que garantizan retornos a los centros que los emplean. En este sentido es posible y compatible potenciar la permeabilidad del personal al tiempo que se potencia la estabilidad.

En cuanto a la definición de las áreas estratégicas a la que ha de dirigirse la investigación, el documento propone.

1. Realizar esfuerzos en mantener y mejorar los patrones que actualmente existen, manteniendo un alto nivel de excelencia en la totalidad de las magnitudes básicas y siendo más selectivo en las magnitudes derivadas.
2. Participar en actividades de I+D de metrología siguiendo:
  - a. Las necesidades nacionales de la industria y el comercio. Para ello debe realizarse un estudio prospectivo de las necesidades metrológicas del país.
  - b. Trabajar en metrología orientada a resolver los problemas de las áreas prioritarias definidas por la UE: salud, energía, medioambiente, seguridad y nanotecnologías.
  - c. Seguir las directrices del EMRP<sup>4</sup> de EURAMET en cuanto a prioridades de investigación obteniendo recursos del Programa Marco de la UE.

El documento articula sus conclusiones en cuatro apartados: de carácter previo, de orden organizativo, de orden económico y, finalmente, en cuanto a los desarrollos futuros.

---

<sup>4</sup> European Metrological Research Program: "Roadmapping" elaborado por EURAMET.

1. En el primer punto concluye en que el carácter dinámico de la metrología científica la configura como una actividad íntimamente ligada al I+D de forma que el mantenimiento de los patrones nacionales exige un esfuerzo constante en este campo.
2. En cuanto a las conclusiones de orden organizativo la CLA propone:
  - a. Fomentar el papel proactivo del CSM como organismo rector de la política metroológica nacional.
  - b. Fomentar la cooperación internacional a través de EURAMET y generar retornos de la UE mediante una política coordinada con nuestros representantes en la Comisión.
  - c. Utilizar la CLA del CSM como órgano coordinador en la selección de inversiones estratégicas evitando lagunas y duplicidades entre los LLAA y entre estos y el CEM.
3. Por lo que respecta a las conclusiones económicas la CLA indica:
  - a. La importancia de la metrología científica para la sociedad, la industria y el comercio. Adicionalmente se resalta que una metrología de calidad es una condición necesaria para el conjunto del I+D nacional (no se puede hacer I+D sin medidas de calidad) y la capacidad de la metrología para generar beneficios externos importantes.
  - b. La necesidad de incrementar a medio plazo el gasto corriente (no tanto el de inversión) si se quieren acometer desarrollos en campos en expansión.
  - c. La necesidad de contar con sistemas de contratación de personal que permitan mantener el talento y rentabilizar los costes de formación de personal.
  - d. Acometer las inversiones con el foco puesto en proyectos en vez de en instrumentos.

4. Finalmente, y en cuanto a desarrollos futuros, el documento propone:
  - a. Adecuar los objetivos a los recursos siendo muy selectivo en los mismos, manteniendo un nivel de excelencia en lo que se tiene y limitando los desarrollos según las posibilidades financieras y de cooperación internacional.
  - b. Seguir las recomendaciones del CIPM y priorizar como áreas nuevas la metrología química, los materiales, la biología y las nanotecnologías.
  - c. Fomentar la colaboración de los centros especializados con las universidades.
  - d. Trabajar en las áreas finales establecidas por la UE: energía, salud, medioambiente, seguridad y bienestar social. Definir, dentro de este conjunto, subáreas prioritarias para España como pueden ser las del agua, energías renovables e industria alimentaria y vinícola.

## 1 INTRODUCCIÓN

Es una realidad contrastada, que en las economías avanzadas como la de la Unión Europea, el conocimiento, que engloba la investigación y el desarrollo (I+D), la innovación y la educación, es un motor esencial del incremento de la productividad. Siguiendo esta línea, los jefes de gobierno de la UE plantearon en Lisboa esta realidad como prioritaria y establecieron que la inversión en este concepto debería alcanzar el 3 % del PIB en el año 2010<sup>5</sup> [1].

El pasado año 2006, la Estrategia de Lisboa se ha focalizado en la presentación por parte de los Estados Miembros de resultados sobre los objetivos presentados en el 2005 y en empezar a superar los retos nacionales, teniendo en cuenta las evaluaciones del Consejo y de la Comisión. Se insta específicamente que donde sea necesario, los Estados Miembros deben actualizar sus programas nacionales de reforma, teniendo en cuenta las conclusiones de la cumbre Europea de Primavera del 2006 con el objetivo de acentuar la focalización en los retos específicos de cada país sobretodo en las cuatro áreas de acción prioritaria siguientes:

- Inversión en conocimiento e innovación.
- Liberar el potencial de las empresas, sobretodo de las PYME.
- Aumentar las oportunidades de encontrar empleo.
- Avanzar hacia una política energética de la UE eficiente e integrada.

---

<sup>5</sup> La Vicepresidenta del Gobierno expresó que “La economía crece y avanza, pero es necesario que, para que siga haciéndolo, mejore nuestra competitividad y nuestra productividad, y para ello es esencial dar un impulso a la innovación y a la formación, que apoyemos a nuestros científicos y a nuestros investigadores” (11 de enero de 2007). Asimismo, el Consejo de Ministros ha aprobado un real decreto que declara el año 2007 como “Año de la Ciencia”. Con este motivo se impulsará un Plan Integral de Comunicación y Divulgación de la Ciencia y la Tecnología en España, y se concederán deducciones fiscales a las actividades de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i).

La Metrología es la ciencia de la medida, está presente en todos los campos de actividad de la investigación y el desarrollo y cubre tres actividades principales: definición de las unidades de medida internacionalmente aceptadas, realización de las unidades de medida por métodos científicos y establecimiento de las cadenas de trazabilidad.

A pesar de su relevancia, en España, la metrología tradicionalmente no ha sido incluida directamente en los programas de I+D, tanto porque pasa desapercibida su implicación y relevancia en todos los ámbitos de la sociedad, como por desconocimiento acerca de sus necesidades de I+D. Esta situación debe corregirse e incorporar la metrología con nombre propio a los programas estratégicos.

#### I+D en Metrología

“Investigación” desde el punto de vista de la metrología puede definirse como una serie de estudios y trabajos experimentales sobre los principios fundamentales en los que se soportan los patrones de medida. La inestabilidad de los patrones materializados obliga a referir las unidades a constantes físicas fundamentales y a buscar que los patrones se basen en la repetibilidad de experimentos fundamentados en esas constantes.

“Desarrollo” incluye innovación, mejora y modificación de los patrones e instrumentación existentes, así como nuevos métodos de medida, que generan usualmente nuevas informaciones, aplicaciones o menor incertidumbre de medida.

La Metrología es esencial en la investigación científica (la experimentación requiere medición) y la investigación científica es la base del desarrollo de la propia metrología. Aquellos campos de la metrología de mayor desarrollo, son los que aportan más y mejores soluciones a la investigación y a la industria.

La ciencia de las medidas no es solo asunto de los científicos. Es algo de vital importancia para todos los ciudadanos. La intrincada pero invisible red de

servicios, suministros y comunicaciones de la que dependemos todos se basa en la Metrología para su funcionamiento eficiente y seguro. Por ejemplo:

- El éxito económico de las naciones depende de su habilidad para fabricar y comercializar productos y componentes hechos con exactitud y, consecuentemente, con calidad.
- Los sistemas de navegación por satélite y la correlación internacional del tiempo hacen posible la localización precisa, posibilitan los sistemas de redes de computación alrededor del mundo y la seguridad de los transportes.
- La salud humana depende críticamente de la habilidad de hacer diagnósticos veraces, en los cuales las mediciones son cada vez más importantes.
- Los ciudadanos han de confiar en la cantidad de bienes suministrados en las transacciones comerciales.

Todas las formas de medidas físicas y químicas afectan a la calidad en el mundo en el que vivimos.

Mediciones erróneas o inadecuadas pueden conducir a decisiones erróneas que pueden tener serias consecuencias, costando dinero e incluso vidas. Las consecuencias humanas y económicas de decisiones erróneas basadas en medidas de baja calidad o inexactas que se tomen en materias tan importantes como el cambio climático y la contaminación del medioambiente son casi incalculables. En consecuencia es importante disponer de medidas exactas y precisas que sean aceptadas por las autoridades correspondientes en todo el mundo.

Por ello, los metrologos están permanentemente ocupados en el desarrollo de nuevas técnicas, instrumentos y procedimientos de medida, para satisfacer la demanda siempre creciente de mayor exactitud, mayor eficacia y rapidez de las medidas.

Para la exactitud de las medidas que se realizan en la vida cotidiana, es necesario que los instrumentos utilizados en cualquier lugar estén calibrados y que la calibración pueda ser trazada a un sistema de patrones y materiales de referencia internacionalmente aceptado. Por ejemplo, que las balanzas de un supermercado hayan sido trazadas respecto a un sistema nacional de medidas y que los patrones nacionales utilizados hayan sido a su vez calibrados respecto a un patrón internacional de masa. Se crea así una cadena de calibraciones que permite que las medidas en el supermercado sean trazables a un grupo de patrones aceptado y acreditado internacionalmente. El consumidor puede entonces confiar en su sistema local de pesas y medidas. Una confianza que se refuerza cuando comprueba que las pesas y medidas utilizadas en su propio país son equivalentes a las utilizadas en otros países, y que todas se basan en un único patrón internacional.

La Metrología es una ciencia antigua, y se ha desarrollado en función de las necesidades de la sociedad. La clasificación actual entre metrología científica (fundamental y aplicada) y legal ha sido consecuencia de la evolución del conocimiento y exigencias de la sociedad. Mientras la metrología científica es esencial para todos aquellos ocupados en las diferentes cadenas de medidas, calibraciones y acreditaciones, el objetivo principal de la metrología legal son las medidas que directamente afectan a los ciudadanos. Aunque la metrología científica y la metrología legal pueden y deben trabajar con diferentes niveles de precisión, ambas tratan con problemas íntimamente relacionados. Ambas son esenciales para asegurar lo mejor posible la confianza del ciudadano, protegido por medidas exactas.

En definitiva, las consecuencias potenciales de datos inadecuados relativos al comercio o a la medicina nos afectan a todos, señalando que la Metrología es una disciplina básica que debe ser tratada de forma coordinada y global.

## **2 BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LA METROLOGÍA EN ESPAÑA**

España tiene una amplia tradición en el campo de la Metrología Científica [6, 7]. Hasta finales del siglo XIX en las diversas regiones españolas, como en el resto de Europa, se medía y se pesaba utilizando unidades locales como la legua, la toesa, la vara, el pie, la libra, la fanega, etc., todas ellas locales y diferentes entre sí, lo que daba lugar a dificultades comerciales a la hora de transferir los valores de unas a otras. La idea de una unificación que solucionara este problema se extendía ya en el siglo XVIII, y en 1791, a sugerencia de Talleyrand, la Asamblea Nacional Francesa, en plena revolución, decidió estudiar la posibilidad de definir unos patrones de medida universales basados en constantes de la naturaleza y aceptables para todas las naciones. Se había comenzado años antes por la unidad de longitud, y para definir un valor se había enviado a diferentes lugares unas expediciones científicas con el objetivo de medir la longitud del cuadrante terrestre. Una a Perú y otra a Laponia, pues también se quería comprobar si la Tierra era esférica o achatada. Se trataba de medir la longitud de un grado del cuadrante terrestre en ambos lugares y comparar los resultados. En la expedición a Perú participaron dos jóvenes marinos españoles: Jorge Juan y Antonio de Ulloa. Después de años de medidas, cálculos y estudios los investigadores llegaron a la conclusión de que la Tierra estaba achatada por los polos. También se aceptaron las mediciones de Jorge Juan y de Ulloa en Perú como las más exactas. Con objeto de unificar valores, años después se midió también el cuadrante del meridiano terrestre entre Dunkerque y Barcelona.

Tras los éxitos de sus medidas, y de regreso a España, Jorge Juan sugirió al Ministerio de Marina la creación de un observatorio anejo a la Academia de Guardias Marinas. En 1753 se creaba el Real Observatorio de la Marina.

Podemos pues afirmar que Jorge Juan y Ulloa fueron los primeros metrologos españoles de prestigio, y que el importante papel que en el futuro jugaría la Metrología española se debe en parte a la semilla de su buen hacer metrológico.

La comisión encargada decidió proponer como patrón de longitud el metro, definido como la diezmillonésima parte del cuadrante del meridiano terrestre. Para ello se convocó una reunión internacional en París en 1798, invitando a Holanda, Suiza, Milán, Génova, Cerdeña, Turín, Roma, Florencia, Dinamarca y España (representada por el Capitán de Navío Gabriel Ciscar). A esa reunión asistieron Borda, Lagrange, Laplace, Machain y Van Swinden. En 1799 se decidió que el valor más fiable de las medidas del meridiano era el dado por Jorge Juan y Antonio Ulloa. El valor definitivo asignado al metro fue de 3 pies y 11,296 líneas de la toesa de Perú. Se materializó en barras de platino y para su reproducción rápida se sugirió la fórmula del periodo de batida del péndulo a una altura determinada.

Simultáneamente se determinó el valor de la unidad de peso, el “grave” (después llamado kilogramo), que equivalía a 18 827,15 granos de la pila de Carlomagno.

Los representantes de los países se apresuraron a recomendar a sus gobiernos la aceptación de este germen del Sistema Métrico Decimal.

Al regresar a España Gabriel Ciscar redactó su “Memoria elemental sobre las nuevas pesas y medidas fundadas en la naturaleza”, que no se publicó hasta 1880

Ciscar trajo de París cinco prototipos o patrones primarios de longitud, y cinco de peso, los primeros que tuvo España.

Durante la Guerra de la Independencia Ciscar mandó la compañía de Guardias Marina de Cartagena. Formó parte de la Junta Central Suprema y fue Ministro de

Marina. A la vuelta de Fernando VII fue encarcelado y desterrado. Vivió en Gibraltar gracias a una pensión que le consiguió su amigo el Duque de Wellington.

Para internacionalizar definitivamente el Sistema Métrico Decimal se constituyó en 1870 la Comisión Internacional del Metro. El delegado español fue el General Ibáñez e Ibáñez de Ibero, quien fue elegido Presidente.

En 1875 se creó la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) que se instaló en Sèvres (Paris), y cuya actividad está supervisada por la Comisión Internacional de Pesas y Medidas (CIPM). El conjunto es dirigido por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM). La primera reunión de la Conferencia tuvo lugar en 1889 y aprobó las nuevas definiciones del metro y el kilogramo, materializadas en platino e iridio, y depositados en el BIPM.

A la muerte de Ibáñez fueron miembros representantes de España en el CIPM sucesivamente Arrillaga (1893-1919), Torres Quevedo (1920-1929) y Cabrera (1929-1941). En 1954 fue elegido José M<sup>a</sup> Otero Navascués vocal del CIPM, y presidente en 1968.

Durante la permanencia de Otero en el CIPM se fue desarrollando el actual Sistema Internacional de Unidades. Así en 1954 se adoptaron las seis unidades básicas. En 1956 se acordó denominar al sistema práctico de unidades de medida como Sistema Internacional de Unidades. En la CGPM de 1960 se ratificó este nombre, se acordó asignarle la abreviatura SI y se aprobaron los nombres de múltiplos y submúltiplos. También se confirmaron las seis unidades básicas y las unidades derivadas que se obtienen por simples relaciones algebraicas, y se aprobó una lista de nombres especiales para algunas de ellas.

Ya en tiempos de Cabrera se había decidido ir definiendo todas las unidades básicas en función de fenómenos físicos bien reproducibles y con buena

incertidumbre. Eran las “definiciones físicas” que Otero impulsó. Durante los 20 años que permaneció en el CIPM se definieron las siguientes unidades:

En 1960 se aprueba la definición del metro en función de la longitud de onda de una cierta radiación del kriptón 86.

En 1967 se define el segundo en función de una cierta radiación del cesio 133 y la unidad de temperatura termodinámica, el kelvin, en función del punto triple del agua.

En 1971 se aprueba el mol como unidad de cantidad de sustancia en función de los átomos del carbono 12.

En 1975 las unidades de radiaciones ionizantes becquerel y gray. También se asigna a la velocidad de la luz un valor exacto, lo que permite reducir la incertidumbre de la realización del metro según la nueva definición que se aprobó en 1983. Análogamente la nueva definición de la candela, en función del vatio, que fue aprobada en 1979.

A pesar de la muy brillante actividad de nuestros científicos en la Metrología Internacional, España seguía aun hace 30 años sin disponer de una clara ordenación metrológica.

El Ministerio de Industria quiso resolver el problema, estableciendo en 1982 el Sistema de Calibración Industrial (SCI). En el se integra un Grupo Asesor de Calibración compuesto por metrologos representantes de los organismos españoles involucrados en responsabilidades metrológicas, presidido por Leonardo Villena, alma del proyecto. Se establecieron una red de Laboratorios de Referencia, aquellos con Patrones de Referencia, y otra de Laboratorios de Calibración, así como los criterios de trazabilidad del Sistema. El SCI fue admitido en 1985 en la *Western European Calibration Cooperation*, la cual incorporó

muchas de las ideas desarrolladas en el SCI. Cuando el MINER impulsó la creación de ENAC, continuadora de la antigua RELE, el SCI le traspasó unos 60 laboratorios de calibración acreditados, una normativa adecuada, siete clasificaciones de instrumentos de medida y más de 300 procedimientos de calibración.

En paralelo, desde el Ministerio de la Presidencia se estaba gestando un proyecto de gran trascendencia para el futuro de la metrología y su ordenación futura. En 1980 se crea una Comisión Nacional de Metrología y Metrotecnica, cuyo vicepresidente es Manuel Cadarso. Gracias a una subvención concedida por el CEDETI se equipan una serie de laboratorios de Metrología dentro del Instituto Geográfico y Catastral, a la vez que se redacta el proyecto de Ley de Metrología, que será aprobado en 1985, creándose el Centro Español de Metrología (CEM) [8]. Cadarso es nombrado Director del mismo y el Gobierno asigna los medios suficientes para construir y equipar un Centro Español de Metrología a nivel de los mejores europeos, que sus Majestades los Reyes inauguran en 1989. Este hito en la Metrología española contribuyó al gran impulso que la Metrología Científica Española ha tenido en los últimos años, arrastrando a su vez a la metrología industrial y legal. Rodeándose de especialistas con prestigio en España y fuera de ella, Cadarso impulsó la creación de áreas Científico-técnicas. Los laboratorios creados han ido consolidándose y creciendo.

### 3 IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL DE LA METROLOGÍA

Debido a que la definición de las unidades legales [9] (el SI global) y la definición, realización y diseminación de los patrones nacionales de medida son la responsabilidad de los gobiernos, se plantea la pregunta sobre el alcance del impacto económico y social de las actividades metroológicas. Desafortunadamente, no es sencillo definir y cuantificar su alcance en los términos habitualmente empleados en evaluación de proyectos y su impacto, como lo puede ser en otros ámbitos, a efectos de establecer el nivel de inversión necesario para el desarrollo de la actividad metroológica. No obstante existen algunos estudios que intentan cuantificar los beneficios sociales y económicos que aporta la existencia de una infraestructura metroológica nacional.[2, 3, 4, 5]

El alcance de la metrología en cada país, es diferente en función de su desarrollo económico y entorno geográfico, centrándose en las necesidades de su sociedad. A continuación, con más detenimiento, se detalla cada uno de los aspectos anteriormente mencionados [10, 11, 12].

#### 3.1 *Impacto Social*

##### 3.1.1 Comercio

La metrología afecta al comercio en todas sus vertientes, desde el minorista hasta el mayorista, desde el comercio nacional hasta el comercio internacional. Los intereses contrapuestos entre comprador y vendedor justifican plenamente la regulación, la unificación de las unidades de medida y la exactitud de las mismas.

La metrología debe proteger los intereses de todos aquellos que participen en una transacción comercial basada en medidas.

En la mayoría de los países se comercializan productos, cuyo valor puede oscilar entre el 60 % y el 80 % del PIB, sobre los que, en el camino que va desde el productor al consumidor, se realizan repetidas medidas con instrumentos y aquí la metrología juega un papel relevante ayudando a evitar conflictos de intereses entre las partes de una transacción, reduciendo los costes de litigios que ello conlleva. Una buena aplicación de la metrología favorece el principio de competitividad y fomenta la ética entre las transacciones. En este aspecto es de especial relevancia la cobertura que aportan los acuerdos de reconocimiento mutuo [13, 14], tanto a nivel de los Institutos Nacionales de Metrología (INM) como de los laboratorios de ensayo y calibración que contribuyan a eliminar posibles barreras técnicas [15].

### **3.1.2 Salud**

Las medidas en el campo de la salud son un instrumento básico para la calidad de vida, incluso para la vida o muerte de los ciudadanos. ¿Cuántos miles de pacientes con cáncer han sido tratados con éxito cada año por medio de una radioterapia “metrológicamente” exacta? ¿Cuántas vidas se han perdido innecesariamente debido a que instrumentos no calibrados utilizados en radioterapia emitieron demasiada o insuficiente radiación?

En un estudio [2] realizado por la Clínica Mayo (EEUU), se indica que sobre una población de 20 000 pacientes unos resultados de medida de colesterol con error del 3 %, produciría un porcentaje del 5 % de falsos casos positivos que supondrían la repetición de ensayos o intervención médica innecesarias con el coste económico que ello conlleva. También se indica que este porcentaje podría llevar a casos más críticos para la salud de pacientes que necesitando tratamiento, debido a resultados de falsos positivos no se le diagnostique adecuadamente.

En este campo los profesionales de la salud utilizan los instrumentos de medida como una herramienta, pero no son expertos en los mismos, por lo que la

metrología debe garantizarles que las medidas que se obtengan con ellos sean fiables y exactas, dado que no disponen ni de medios ni de conocimientos para contrastarlas. La incidencia que se puede derivar de una medida inexacta como por ejemplo en una radiación terapéutica puede llegar a ser fatal para un paciente.

En la protección de la salud, la metrología también es una herramienta decisiva en otros casos que no son tan obvios, como puede ser en la medida y control de componentes o características de los productos de consumo, por ejemplo el contenido de metales pesados, como cadmio, plomo, mercurio u otras sustancias que en determinadas proporciones hacen de un producto consumible una amenaza vital.

### **3.1.3 Defensa y Seguridad**

La metrología ha sido un elemento clave en la defensa desde tiempos remotos y más recientemente en el campo de la seguridad como lo se refleja en las acciones de la Comisión Europea orientadas a impulsar dicho sector.

Las tecnologías de aplicación a la defensa son amplísimas y en su inmensa mayoría punteras. Siempre se han transferido a una enorme diversidad de campos de aplicación civil y en los últimos años de una forma muy intensa al campo de la seguridad.

El desarrollo técnico incrementa continuamente las posibilidades de defender los intereses nacionales y a la vez controlar la seguridad humana mediante medidas exactas, contribuyendo a la protección de la salud y la vida de las personas, así como a evitar, en todo lo posible, gastos innecesarios.

La metrología actúa en el aspecto de la seguridad en varios sectores para proteger a la sociedad. Uno de ellos y de especial relevancia en los países

industrializados es en la circulación de los vehículos automóviles. Las medidas efectuadas con instrumentos de medida de seguridad vial como manómetros para el inflado de los neumáticos, frenómetros, alineadores al paso, etc. son de suma importancia para nuestra seguridad en las carreteras.

A su vez aquellos instrumentos utilizados por las autoridades públicas para controlar velocidad (cinemómetros), alcohol (etilómetros), etc. necesitan que proporcionen medidas fiables y exactas, con objeto de que se respeten los derechos de los ciudadanos y se puedan cuantificar las posibles sanciones de una forma justa.

Otro de los diversos sectores de incidencia es el de los transportes públicos (aéreos, terrestres y marítimos), en donde se deben disponer de instrumentos sometidos a la metrología que garanticen la seguridad de los pasajeros como pueden ser aquellos instrumentos destinados al pesaje que permitan cuantificar la carga así como su distribución, instrumentos de navegación, desarrollo de sistemas automáticos activos de protección de peatones en casos de colisión, sistemas automáticos de frenado, etc.

Otro sector relevante es el laboral, en donde muchas de las actuaciones relacionadas con la seguridad e higiene en el trabajo de los trabajadores dependen de las medidas realizadas por instrumentos de medida, como pueden ser la medida de parámetros de confort y estrés térmico (niveles de ruido, temperatura, radiación, etc.).

El nivel tecnológico de los sistemas de detección empleados en el control de fronteras y lucha antidroga, requieren instrumentos de medida exactos con trazabilidad adecuada para garantizar la correcta aplicación de la ley, con las consiguientes repercusiones nacionales y comunitarias.

### 3.1.4 Medioambiente

Los ataques al medio ambiente han aumentado de manera constante durante estas últimas décadas, así por ejemplo, las estadísticas muestran que en Europa cada año se producen cerca de 2 000 millones de toneladas de residuos. En cuanto al dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), se ha observado un aumento del mismo procedente de las economías domésticas y del transporte, así como un aumento del consumo de energías contaminantes. La calidad de vida de la población, y más concretamente de las zonas urbanas, está experimentando un fuerte deterioro debido a la contaminación:

- Gases y partículas procedentes del escape de vehículos, industrias y calefacciones,
- Ruido de tráfico o en las cercanías de aeropuertos y ferrocarriles,
- Radiaciones ionizantes por medicina nuclear y el manejo de los aparatos para la misma,
- Contaminación en ambientes interiores y lugares de trabajo,
- Aguas residuales no tratadas adecuadamente,
- Contaminación del agua potable, de ríos y mares con sustancias químicas, con el consiguiente impacto sobre la fauna,
- Contaminación del suelo y su efecto sobre la agricultura en términos económicos y de salud,
- Altas concentraciones de radón en lugares no bien ventilados y con materiales graníticos,
- Radiación ultravioleta excesiva, por daños a la capa de ozono,
- Campos electromagnéticos de baja frecuencia al operar aparatos eléctricos o de alta frecuencia en las transmisiones radiales.

Los instrumentos de medida utilizados para evaluar los niveles de algunos de estos contaminantes están sometidos a la Metrología Legal, como es el caso de los analizadores de gases de escape de los vehículos, opacímetros y sonómetros.

Pero, otros instrumentos de medida como los utilizados en la evaluación de los niveles de contaminantes atmosféricos en emisión o en aire ambiente, de las concentraciones de contaminantes en aguas, suelos, etc. no están sometidos a la Metrología Legal. Si bien, en la mayoría de los casos, está establecida en la reglamentación nacional la metodología de medida, bien en forma de métodos de referencia o de características de funcionamiento de los métodos (exactitud, incertidumbre, etc.), lo que garantiza la trazabilidad.

En otros campos del medio ambiente la situación no es tan satisfactoria, al no existir la obligatoriedad de realizar métodos de referencia o equivalentes o no haberse establecido las pertinentes características del método.

Las medidas realizadas por estos instrumentos son a veces de naturaleza compleja, implicando metrología basada tanto en principios físicos como químicos. Los resultados de la medida en este ámbito pueden tener consecuencias muy importantes a nivel social y económico.

### **3.1.5 Desarrollo industrial**

La metrología es una herramienta que protege a la industria de medidas incorrectas y promueve la calidad, el desarrollo de los productos y la industria, así como la competitividad en los mercados.

Los instrumentos de medición sirven para determinar las propiedades de los componentes y de los productos terminados y se emplean cada vez más también para controlar, regular, automatizar y supervisar procesos. Se emplean mediciones para verificar las tolerancias de fabricación y la operatividad funcional de los productos. Hoy en día, las mediciones son un componente importante del aseguramiento de la calidad.

Una buena infraestructura metrológica es de gran ayuda a la industria, haciendo accesibles servicios tales como, la calibración de instrumentos de medida, patrones y materiales de referencia, formación y asesoramiento, que permiten realizar medidas fiables, desarrollar nuevos productos y por lo tanto contribuir a la calidad de los productos, la eficiencia de los procesos y la competitividad de las empresas.

### **3.1.6 Control y Supervisión de Recursos**

Conforme el planeta amenaza con quedarse sin muchos de los preciados recursos básicos para la producción de energía y alimento, tales como el agua, los minerales, el petróleo, el gas, la pesca, etc., se tiende a aumentar el interés político en el control de dichos recursos. Ello exigirá incrementar el número de medidas de gran exactitud y credibilidad. Hay una creciente concienciación sobre cómo la metrología puede contribuir de forma efectiva.

Como consecuencia, los países legislan cada vez más sobre el control y la supervisión, basándose en la regulación legal de los instrumentos de medida. Esta se convertirá en una de las áreas más importantes de la metrología en el siglo actual, junto con la metrología comercial y la metrología de control medioambiental.

La importancia de este tema vino ya secundada por la Resolución 1ª de la 20<sup>ima</sup> Conferencia General de Pesas y Medidas de 1995, sobre la necesidad de utilizar el Sistema Internacional de Unidades en el campo de los estudios de recursos.

En el control de la disminución de los recursos naturales, minerales, petróleo, gas, etc. La medida de grandes cantidades es un elemento fundamental, un área clásica donde la metrología tiene gran experiencia y capacidad técnica.

En este área, quizás más que en cualquier otra, se necesita una cooperación eficiente y pragmática entre la metrología y las autoridades gubernamentales, responsables del área de control de recursos donde una medida exacta y fidedigna es vital.

Para concluir, se puede decir que todos los elementos de la sociedad se benefician con la existencia y funcionamiento de una infraestructura metrológica:

las personas en su calidad tanto de consumidores como de empresarios, y el Gobierno en su calidad de garante y protector de los derechos de la sociedad.

### **3.2 Impacto económico**

La infraestructura metrológica nacional y en concreto el desarrollo y mantenimiento de los patrones nacionales de medida suelen ser financiados con fondos públicos, por lo que en una economía de libre mercado como la europea, cada vez es más necesario evaluar las políticas de financiación pública a la metrología y su aportación a la economía y bienestar del país.

Las autoridades públicas necesitan disponer de datos relevantes que ayuden a valorar la efectividad de las inversiones para mantenerlas o reasignar prioridades a otros proyectos. Desafortunadamente, no hay disponibles muchos estudios que permitan cuantificar ese retorno de las inversiones realizadas en metrología.

Merece la pena destacar el informe emitido por el CIPM [2] donde se recogen a grandes rasgos resultados de cuatro grandes estudios que se han realizado en el pasado por NIST (EEUU), DTI (Reino Unido), NRC (Canadá) y la Unión Europea. Cada uno de estos estudios ha utilizado diferentes supuestos económicos.

El NIST ha realizado varios estudios del impacto económico de la metrología en diversas áreas, muchos de los cuales se basan en la comparación del coste de desarrollo de un cierto patrón de medida o material de referencia certificado y el ahorro estimado a un determinado grupo de usuarios o de industria. Este modelo, en principio permite estimar el impacto en una escala nacional haciendo alguna extrapolación. Uno de los ejemplos del estudio relata que el periódico *Washington Post and Medical Laboratory Observer* informó en su día, que entre el 25 % y el 30 % de las medidas relacionadas con la salud se realizan por razones de no diagnóstico (repetición de ensayos, prevención y detección de errores). Esto significa que potencialmente alrededor de 10/30 miles de millones de dólares por año podrían ser ahorrados si las medidas fueran consistentes y garantizadas.

El enfoque del DTI está basado en consideraciones macroeconómicas que permiten obtener cifras generales. En paralelo, se han realizado estudios comparativos respecto a las capacidades de medida de su instituto nacional de metrología (National Physical Laboratory, NPL) en relación con las de otros INM. La investigación demostró que las medidas en el Reino Unido tienen un efecto significativo en la economía del orden del 0,8 % del PIB.

Los estudios canadienses están basados en la combinación de varios estudios parciales, encuestas y análisis estadísticos. Los casos estudiados se han extrapolado obteniéndose la importancia de dichos resultados a escala nacional. Los resultados globales del estudio estiman de forma conservadora que la inversión pública de 12 millones de dólares canadienses en el Instituto Nacional de Metrología proporciona un ratio coste-beneficio de 1 a 13.

El estudio de la UE esta basado en seis casos (nanotecnología, industria del automóvil, industria farmacéutica, sector del gas natural europeo, industria de diagnosis *in vitro*, control de emisiones y contaminación del medioambiente) y en la información aportada por los estados miembros complementada con estimaciones económicas.

Se indica que la UE gasta alrededor del 1 % del PIB en actividades de medida y se estima que por cada euro dedicado a actividades relacionadas con las medidas se generan 3 euros. Así pues, el ratio coste - beneficio es de 1 a 3, esto sin tener en cuenta las externalidades.

De los estudios mencionados anteriormente se deduce que, en las sociedades industriales modernas, el valor anual de las transacciones en las que se emplean las medidas es del 50 % del PIB. Este dato es muy significativo e importante para valorar lo que significaría una reducción de la infraestructura de la metrología legal. Un aumento en el error medio de las medidas del 0,1 % significaría un coste

social del orden del 0,05 % del PIB que es mucho mayor del coste de los Estados en mantener una infraestructura de metrología.

Como resumen se puede decir que los cuatro estudios citados, aportan argumentos que abogan por la conveniencia de que los Gobiernos sigan invirtiendo en metrología y concretamente se concluye en el informe del CIPM que:

- Existen claras razones económicas para que los sistemas de medida nacionales desarrollados y mantenidos por los institutos nacionales de metrología en los países sean financiados con fondos públicos.
- Los INM inducen considerables beneficios (*spillovers*) a la competitividad internacional y a los procesos de innovación industrial, así como apoyo al sector de la industria de los instrumentos de medida y a la pequeña y mediana empresa
- Los INM generan un considerable número de beneficios externos que mejoran cuantitativamente aspectos de la calidad de vida, tales como la salud, la seguridad, la protección del consumidor y del medioambiente.
- La actividad de los INM influye en la economía a través del mantenimiento de la infraestructura metrológica, apoyando la innovación y permitiendo el comercio seguro y justo.
- Se debe prestar especial atención y financiación a las tecnologías emergentes, incluyendo la metrología en áreas como la nanotecnología, medidas basadas en efectos cuánticos, el software, la química, la biotecnología, así como las tecnologías de la información que permiten realizar calibraciones y comparaciones vía telemática.

Debe entenderse que estas conclusiones de carácter general, no obstante deben ser adaptadas a las economías y nivel de desarrollo tecnológico de cada país.

En España se necesita realizar un estudio, que permita cuantificar las necesidades de la industria en materia metrológica y, de esta forma, obtener

información fiable para asignar y coordinar recursos y establecer las líneas de actuación prioritarias, dentro del marco establecido por la UE. Este estudio ha de permitir a su vez, cuantificar y valorar el impacto de la metrología nacional sobre la sociedad e industria y conocer el grado de satisfacción de las necesidades metrológicas nacionales.

## **4 PANORAMA DE LA METROLOGÍA INTERNACIONAL**

### **4.1 METROLOGÍA INTERNACIONAL**

Las realizaciones prácticas de las unidades de medida (patrones nacionales) se mantienen en los Institutos Nacionales de Metrología, desde donde se diseminan para dotar de trazabilidad al resto de usuarios de la metrología [16, 17, 18].

A su vez, el Comité Internacional de Pesas y Medidas, coordina el conjunto de los INM. Existe un laboratorio más especial que los demás, el BIPM, fundado a raíz de la Convención del Metro, que sirve de laboratorio mundial de referencia en determinadas magnitudes. Su estructura, misiones y actividades se resumen en el anexo I del presente documento.

La Metrología está estructurada, a nivel mundial, en Organizaciones Metroológicas Regionales (OMR) compuestas por los distintos INM radicados en los países que la forman. Los INM mantienen relaciones entre sí, bien de manera bilateral, mediante acuerdos de colaboración, o bien a través de sus respectivas OMR, a la búsqueda de un progreso conjunto y con objeto de confirmar la bondad y calidad de sus trabajos, lo que logran mediante la participación en proyectos y en comparaciones interlaboratorios previamente acordadas.

LA OMR más representativas representadas en la figura 1 a nivel global, son: EUROMET: países europeos occidentales. COOMET, países del centro y este europeo, y algunos asiáticos. SADC MET, países del sur de África. APMP, zona de Asia y el Pacífico. SIM para el continente americano, que se divide a su vez en: NORAMET (Canadá, EE. UU. y México); CAMET (Centroamérica); CARIMET (países de la zona del Caribe); ANDIMET (países andinos) SURAMET (países del sur de América).

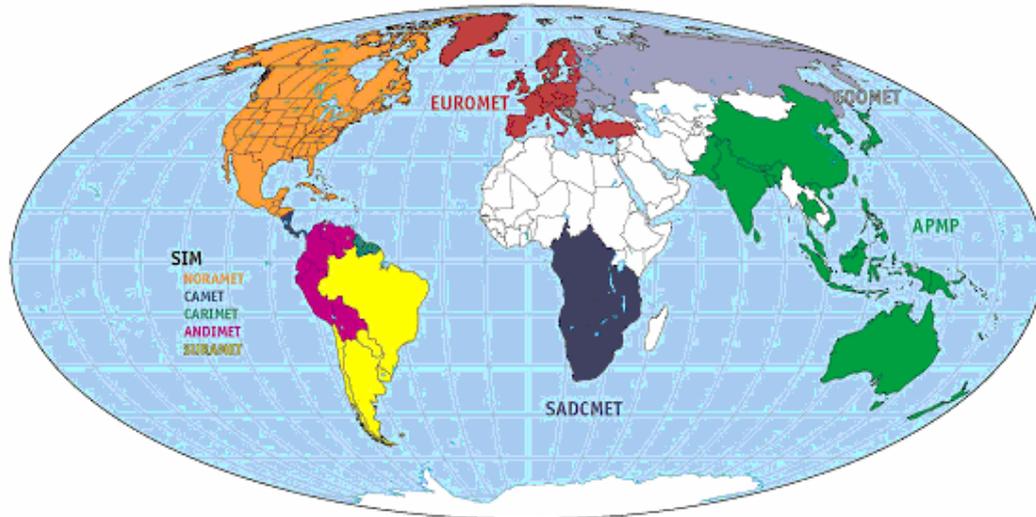
**Organizaciones Metroológicas Regionales**

Fig. 1 – Distribución de las Organizaciones Metroológicas Regionales

Un hito en el Sistema Metroológico Internacional es el Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (ARM) (Mutual Recognition Arrangement, MRA) del CIPM [13] firmado por los directores de los INM miembros de la Convención del Metro en el año 1999. El CIPM-MRA tiene como objetivo establecer el grado de equivalencia de los patrones nacionales de los INM así como de proveer las bases para el reconocimiento de los certificados de calibración y de medición que emiten los INM. A través de este mecanismo, se pone a disposición de los gobiernos y de otras partes interesadas las bases técnicas para establecer acuerdos relacionados con el comercio internacional y sus regulaciones. En la figura 2 se muestra esquemáticamente el funcionamiento del ARM.

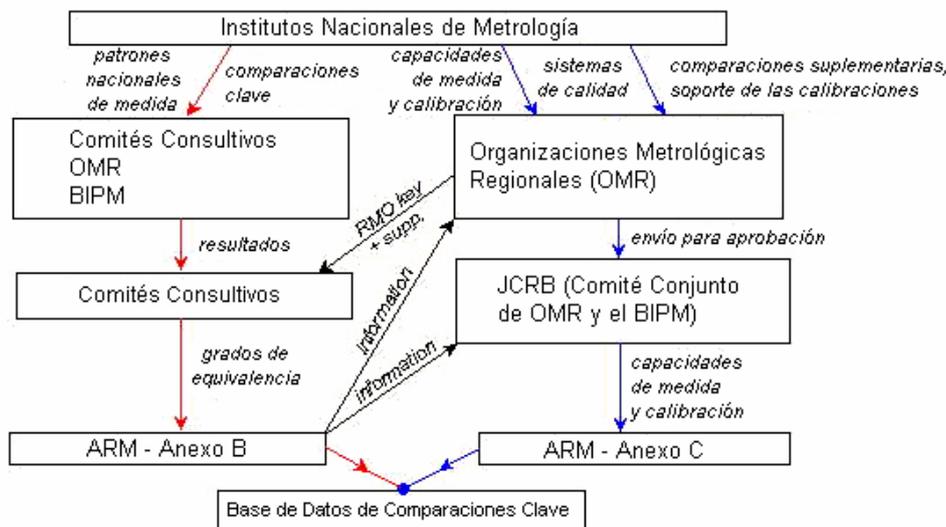


Fig. 2 – Esquema de funcionamiento del ARM del CIPM

El reconocimiento mutuo de las capacidades de medida de los participantes se realiza basándose en los siguientes criterios:

- 1) Participación con éxito en comparaciones identificadas por la comunidad metrológica internacional como de significación clave para magnitudes particulares y rangos específicos.
- 2) Participación con éxito en otras comparaciones suplementarias, relacionadas con servicios de calibración específicos o que suponen alguna prioridad comercial o económica para países individuales o regiones geográficas concretas.
- 3) Declaración de las capacidades de medida y calibración de cada participante (CMC), revisión dentro de la Organización Metrológica Regional correspondiente, revisión por el resto de las OMR y publicación en la base de datos de comparaciones clave del BIPM (KCDB), representado en la figura 3.
- 4) Sistema de Calidad, situado al nivel de la mejor práctica internacional, basado en criterios acordados, habitualmente normas internacionalmente

reconocidas (UNE-EN ISO/IEC 17025), aplicado a los servicios de calibración.<sup>6</sup>

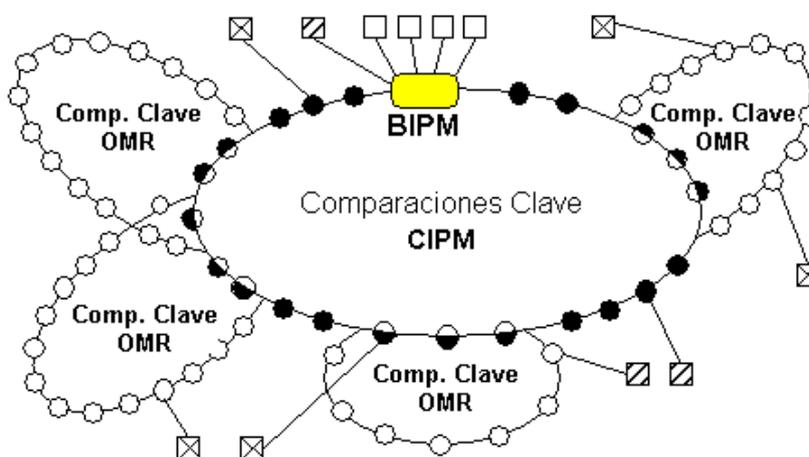


Fig. 3 – Ligazón entre los distintos tipos de Comparaciones Clave

## 4.2 METROLOGÍA EN EUROPA

### 4.2.1 EUROMET

EUROMET, la Organización Metrológica Regional Europea, es un foro de colaboración sobre patrones de medida, establecido en 1987 en Madrid, mediante un Memorandum de Entendimiento. Se originó a partir del Western European Metrology Club (WEMC), el cual había surgido a su vez de una Conferencia sobre Metrología en la Europa Occidental, celebrada en 1973. EUROMET trabaja basándose en la colaboración voluntaria entre los INM de la UE, la EFTA y la propia Comisión Europea [19].

EUROMET tiene las siguientes misiones y campos de actuación:

<sup>6</sup> Para mayor información, vease el anexo I y la página web: <http://www.bipm.org>

## a) Misiones específicas

- Proporcionar un marco de trabajo para la colaboración en proyectos de investigación y en comparaciones interlaboratorios, entre los institutos nacionales de metrología miembros;
- Coordinar las grandes inversiones en instalaciones metroológicas;
- Transferir, entre los miembros, expertos en el campo de los patrones primarios y nacionales;
- Proporcionar información sobre recursos y servicios, y cooperar con los servicios de calibración y de metrología legal europeos.

## b) Campos temáticos

- Acústica, ultrasonidos y vibraciones
- Electricidad y magnetismo
- Flujo
- Masa y magnitudes relacionadas
- Radiaciones Ionizantes
- Longitud
- Metrología química
- Fotometría y Radiometría
- Termometría
- Tiempo y Frecuencia
- Metrología Interdisciplinar
- Sistemas de Calidad de los INM

Para cada campo, los INM miembros designan una persona de contacto, dando lugar a los denominados Comités Técnicos (CT). Los proyectos acordados en cada Comité pueden ser de cuatro tipos:

- Cooperación en I+D
- Comparación de patrones
- Trazabilidad
- Consulta sobre instalaciones y servicios

El Centro Español de Metrología es uno de los 34 miembros de EUROMET y participa, junto con los Laboratorios Asociados de forma activa en los distintos comités técnicos, a través de numerosos proyectos.<sup>7</sup>

#### 4.2.2 EA

La *European Co-operation for Accreditation (EA)* es la organización europea de organismos de acreditación. Se estableció en junio de 2000 como entidad legal, según la ley holandesa. Los miembros de EA son los organismos de acreditación nacionales reconocidos por los países miembros (o candidatos) de la UE y de la EFTA.

Los miembros de EA que hayan superado con éxito una evaluación, pueden firmar el acuerdo multilateral apropiado para:

- Acreditación de organismos de certificación,
- Acreditación de laboratorios de calibración y ensayos,
- Acreditación de entidades de inspección.

Reconocen y promueven la equivalencia de sus sistemas de acreditación, así como los certificados e informes expedidos por los organismos acreditados. Tiene 35 miembros, incluyendo los asociados, de los que 20 organismos de acreditación son signatarios del Acuerdo Multilateral sobre Ensayos.

La evaluación de los sistemas de calidad de los INM y sus laboratorios asociados se realiza por autodeclaración o por reconocimiento de tercera parte, bajo la supervisión del Comité Conjunto Regional del BIPM (JCRB) y del Comité técnico de calidad de EUROMET (TC-Q).

---

<sup>7</sup> En el anexo II se incluye un artículo informativo sobre EUROMET y en el anexo V se detallan los proyectos con participación española. Para mayor información se puede consultar la página web: <http://www.euromet.org>

EA coordina sus actividades con EUROMET, a través del comité de Laboratorios y con otros organismos relevantes como son EUROLAB y EUROCHEM a través de grupos de trabajo conjuntos. Estos organismos se explican brevemente a continuación.<sup>8</sup>

#### 4.2.3 EUROLAB

La *European Federation of National Associations of Measurement, Testing and Analytical Laboratories (EUROLAB)* engloba en torno a 2 000 laboratorios europeos. Es una organización de cooperación, de carácter voluntario, que representa y promueve los puntos de vista técnicos y políticos de la comunidad de laboratorios, coordinando acciones con, entre otros, la Comisión Europea, relativas a normalización europea o a cuestiones internacionales. Organiza jornadas y simposios, y genera tomas de posición e informes técnicos. Muchos INM son también miembros de EUROLAB.<sup>9</sup>

#### 4.2.4 EURACHEM

Se fundó en 1989 y es una red de organizaciones de 31 países europeos más la Comisión Europea, que tiene por objetivo establecer un sistema de trazabilidad internacional para las medidas químicas, así como la promoción de buenas prácticas de calidad. La mayoría de los países miembros tienen también establecidas redes EURACHEM nacionales. EURACHEM y EUROMET cooperan con vistas al establecimiento de laboratorios designados, el empleo de materiales de referencia y la trazabilidad a la unidad SI de cantidad de sustancia, el mol. Las cuestiones técnicas se discuten en el Grupo de Trabajo Conjunto MetChem.<sup>10</sup>

---

<sup>8</sup> Para mayor información se puede consultar la página web: <http://www.european-accreditation.org>

<sup>9</sup> Para mayor información se puede consultar la página web: <http://www.eurolab.org/>

#### 4.2.5 COOMET

COOMET es la organización equivalente a EUROMET, cuyos miembros pertenecen a países de Europa central y del Este, y países asiáticos.<sup>11</sup>

### 4.3 CAMBIOS ESTRUCTURALES EUROPEOS ACTUALES

En la actualidad, la UE invierte en I+D el 2 % PIB, lo que supone un ligero incremento respecto del momento en que empezó el proceso de Lisboa. Se debe avanzar más rápidamente hacia el objetivo de la UE de llegar a un 3 % del PIB en este concepto. Para ello se deben reunir una serie de condiciones, como incrementar el gasto público y hacerlo más eficiente, establecer un marco más favorable para que las empresas trabajen en la I+D+i, así como proveer un mayor número de investigadores cualificados y motivados.

La valoración de la calidad de las mediciones y su mejora constante, facilita el progreso científico, el desarrollo tecnológico, el bienestar social y la calidad de vida. Se estima que, en la Europa actual, las mediciones suponen un coste equivalente a más del 1 % del PIB combinado, con un retorno económico equivalente de entre el 2 % y el 7 % del PIB.

Hay que tener en cuenta que ya sea café, agua, electricidad o calor, productos petrolíferos, cuotas de contaminación (con el Protocolo de Kyoto), todo se compra y se vende tras efectuar procesos de medición y ello afecta a las economías privadas. El comercio, el mercado y las leyes que los regulan dependen de la metrología y del empleo de unidades comunes. Por otro lado, grandes problemas que surgen debido a un mal funcionamiento de un abastecimiento indebido, caso de los cortes de energía eléctrica, podrían ser evitables con el control de las medidas y a su vez la medición de las características de sus componentes.

---

<sup>10</sup> Para mayor información se puede consultar la página web: <http://www.eurachem.org>

<sup>11</sup> Para mayor información se puede consultar la página web: <http://www.coomet.org>

Se han desarrollado numerosas actividades de colaboración en el entorno de proyectos de I+D. Generalmente, este tipo de colaboración es coyuntural y, por tanto, no refleja necesariamente los propósitos estratégicos de los institutos nacionales. Las actuales colaboraciones *ad-hoc* han añadido valor a la I+D llevada a cabo, aunque una variedad de factores limitan sus efectos potenciales. Estos factores van desde la falta de apoyo suficiente por parte de los niveles de gestión de los institutos participantes, lo que limita las oportunidades de colaboración y causa retrasos significativos en la ejecución de los proyectos de colaboración, hasta las barreras que surgen por incompatibilidades cuando los miembros intentan colaborar y a la vez cumplir los plazos impuestos en los ejercicios presupuestarios nacionales.

Es importante destacar la situación europea actual en la que el incremento de niveles de cooperación entre los institutos nacionales de metrología hará que mejoren de forma significativa sus efectos para estar a la par con el crecimiento de la demanda. Para lo que se creó el proyecto “Implementing Metrology in the European Research Area” (iMERA) [20] que preparó un Programa de Investigación en Metrología Europeo (EMRP) [21] en el que se generarán las condiciones institucionales y legales para su implementación.

El proyecto iMERA estuvo encaminado a conseguir una investigación europea conjunta acogiendo a los beneficios del Artículo 169 del Tratado Europeo. Este artículo posibilita que la Comisión Europea dé apoyo financiero a la investigación europea en áreas donde los Estados Miembros de la Unión deseen mancomunar todo o parte de sus recursos nacionales. Este proyecto se gestó teniendo en cuenta que los avances en metrología son base de la innovación, mejoran la calidad de vida y potencian otras áreas de la ciencia. La demanda creciente de metrología de alto nivel en las áreas tradicionales, así como la necesidad de apoyar áreas emergentes de la tecnología, requieren una nueva vía de colaboración y financiación para los institutos nacionales de metrología europeos. El incremento de niveles de cooperación hará posible que los INM mejoren de

forma significativa sus resultados para estar a la par con el crecimiento de la demanda. Es de destacar que:

- las áreas tradicionales de la industria son cada vez más complejas y requieren rangos de medida más amplios y menores incertidumbres,
- están apareciendo nuevas áreas de tecnología, tales como la nanotecnología y la biotecnología,
- hay áreas que no son nuevas en sí mismas, pero en las que el valor de la metrología está siendo reconocida cada vez más, tales como la química, la medicina y la seguridad de los alimentos.

Por otro lado en el I+D de los INM se ha comprobado que:

- los propósitos de varios programas nacionales se solapan significativamente,
- muchos de los equipos de investigación no son óptimos en términos de masa crítica,
- las instalaciones metrológicas especiales o mejores son caras de establecer, y puede que no se rentabilicen adecuadamente sólo con la demanda nacional,
- la mayoría de los asuntos abordados por la investigación podrían ser enfocados mejor en colaboración.

Esto muestra la necesidad de aumentar la eficacia y el efecto a través de actividades coordinadas de I+D en metrología realizadas a nivel europeo. Una vía común europea para la investigación metrológica incrementaría la masa crítica, compartiría la carga y crearía una perspectiva científica y tecnológica común.

Debido a que la Organización Regional de Metrología Europea “EUROMET” no es una entidad con personalidad jurídica propia, no puede firmar contratos ni manejar un presupuesto propio. La cuota anual que pagan los miembros no la pagan estrictamente a EUROMET, sino al Instituto Nacional de Metrología que en aquel momento ostente la secretaría, responsable de confeccionar un informe de toda la actividad para presentar a la Asamblea General.

Fué necesario hacer un cambio importante en cuanto a la situación de la Organización Regional de Metrología Europea “EUROMET” constituyendo el “*European Metrology Research Programme*”, que es una entidad con personalidad jurídica y con capacidad de contratación.

El trabajo de preparación para el EMRP se realizó, dentro del proyecto iMERA, en el instituto Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), trabajando con el organismo alemán, Bundesministerium für Wirtschaft und Industrie (BMWI), que estudió las opciones para una entidad legal requerida para gestionar los contratos de EMRP en el marco del Artículo 169.

Se identificó una figura jurídica de servicio público (e.V.), de acuerdo con el derecho civil alemán, como la mejor opción para la entidad legal. Las personas encargadas a este fin desde Alemania han elaborado un reglamento para un e.V. que pudiera actuar tanto con el EMRP como mantener las actividades existentes en la nueva Organización Metrológica Regional, que pasará a llamarse EURAMET a fin de evitar un fraccionamiento de la metrología europea.

#### **4.3.1 EURAMET e.V.**

“EURAMET” es el nombre de la asociación que se constituyó en enero de 2007 e inscrita posteriormente en el Registro Mercantil. La asociación y su Secretaría están domiciliadas en Braunschweig. El ejercicio de la asociación se corresponde con el año natural. El lenguaje utilizado por EURAMET es el inglés. Los documentos con importancia para la autoridad fiscal alemana y el Registro de Asociaciones las traducirá la Secretaría al alemán. El derecho aplicable es el derecho alemán.

El objeto de la asociación es la promoción de la ciencia y la investigación y la cooperación europea en el campo de la metrología. Se establece a través de las medidas siguientes:

- a) el desarrollo y asistencia a la cooperación de investigación a nivel europeo en el campo de la metrología y los patrones de medida y la creación de los órganos necesarios
- b) la asistencia a miembros y asociados en la solicitud de los fondos de investigación para los proyectos conjuntos europeos en los campos indicados en a)
- c) la coordinación del uso conjunto de instalaciones especiales de los miembros
- d) la mejora del uso de los recursos disponibles para cubrir mejor las necesidades metrológicas y la garantía de la trazabilidad de los patrones
- e) cooperación técnica con institutos metrológicos distintos de EURAMET e.V. y con otras organizaciones metrológicas regionales e internacionales
- f) realización de las tareas de un Organismo Regional de Metrología (RMO, por sus siglas en inglés) con el objetivo de un reconocimiento mutuo internacional de los patrones de medida nacionales y de los certificados de calibración y medida
- g) la promoción o coordinación de la transferencia del conocimiento científico y la experiencia en el campo de la metrología implementadas a través de las siguientes medidas, a saber:  
programas de formación conjunta, talleres de trabajo, realización de un foro de información en Internet, publicación de los resultados científicos en revistas profesionales y organización de conferencias científicas
- h) representación de la metrología a nivel europeo y promoción de actuaciones correctas realizadas por aquellos que toman decisiones

políticas relativas a la infraestructura metrológica y la cooperación europea

- i) cooperación con organizaciones europeas e internacionales responsables de la infraestructura de calidad, en concreto, mediante su participación en la preparación de documentos técnicos armonizados.

El objetivo de la asociación se materializará por el desarrollo, actualización regular e implementación de un Programa Europeo de Investigación Metrológica (ERMP, por sus siglas en inglés), que estará sujeto a las condiciones de financiación y las Reglas de Procedimiento. Las actividades del EMRP podrán ser financiadas por los miembros participantes en el EMRP, por la Comisión Europea u otras fuentes de financiación similares. El ERMP permite la financiación orientada a programas y la evaluación de actividades de investigación y desarrollo conjuntas llevadas a cabo por miembros de EURAMET. Los proyectos del EMRP serán realizados por los miembros participantes y por otras organizaciones autorizadas para hacerlo según las condiciones de financiación. EURAMET por sí mismo no realizará proyectos del EMRP. La figura 4 muestra el esquema organizativo de EURAMET y los mecanismos de funcionamiento y elementos que influyen en el desarrollo del EMRP.

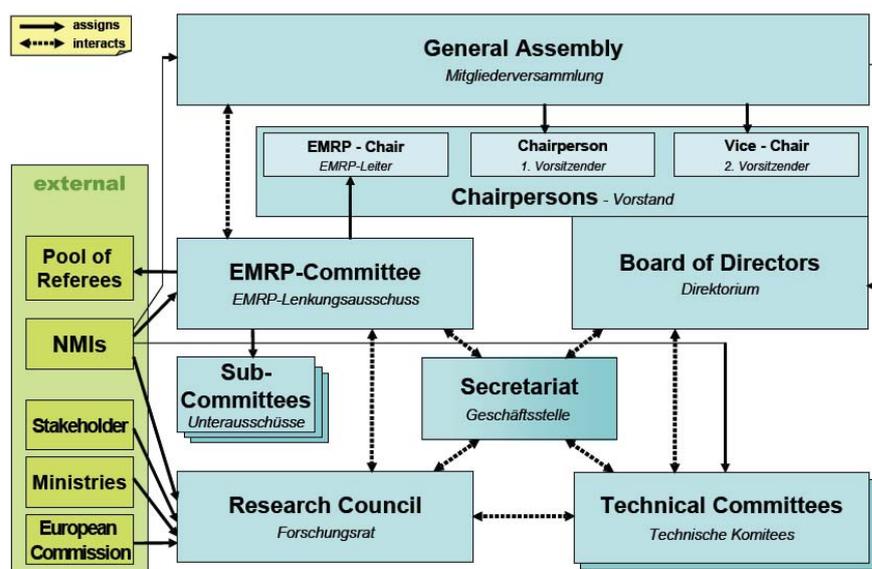


Fig. 4 – Esquema organizativo de EURAMET

Los propósitos perseguidos por EURAMET, a nivel nacional e internacional, son exclusivamente no lucrativos, según el significado del apartado “fines privilegiados fiscalmente” del Código fiscal alemán.

EURAMET actuará desinteresadamente y no perseguirá, predominantemente, sus propios intereses financieros.

Los fondos de EURAMET únicamente podrán utilizarse a corto plazo y para los fines que establezcan los Estatutos. Los miembros no obtendrán ningún apoyo financiero de la asociación debido a su condición de miembros, sino únicamente para la ejecución de los programas y proyectos. En caso de expulsión de EURAMET o de disolución de la asociación, los miembros no tendrán derecho a presentar reclamaciones financieras a EURAMET. A ningún miembro se le concederá ningún privilegio a través del reembolso de los gastos incurridos para fines que no se adecuen a los objetivos de la

asociación. En la figura 5 se muestran las aportaciones realizadas por los distintos miembros. Como se puede observar, España ocupa el octavo puesto.<sup>12</sup>

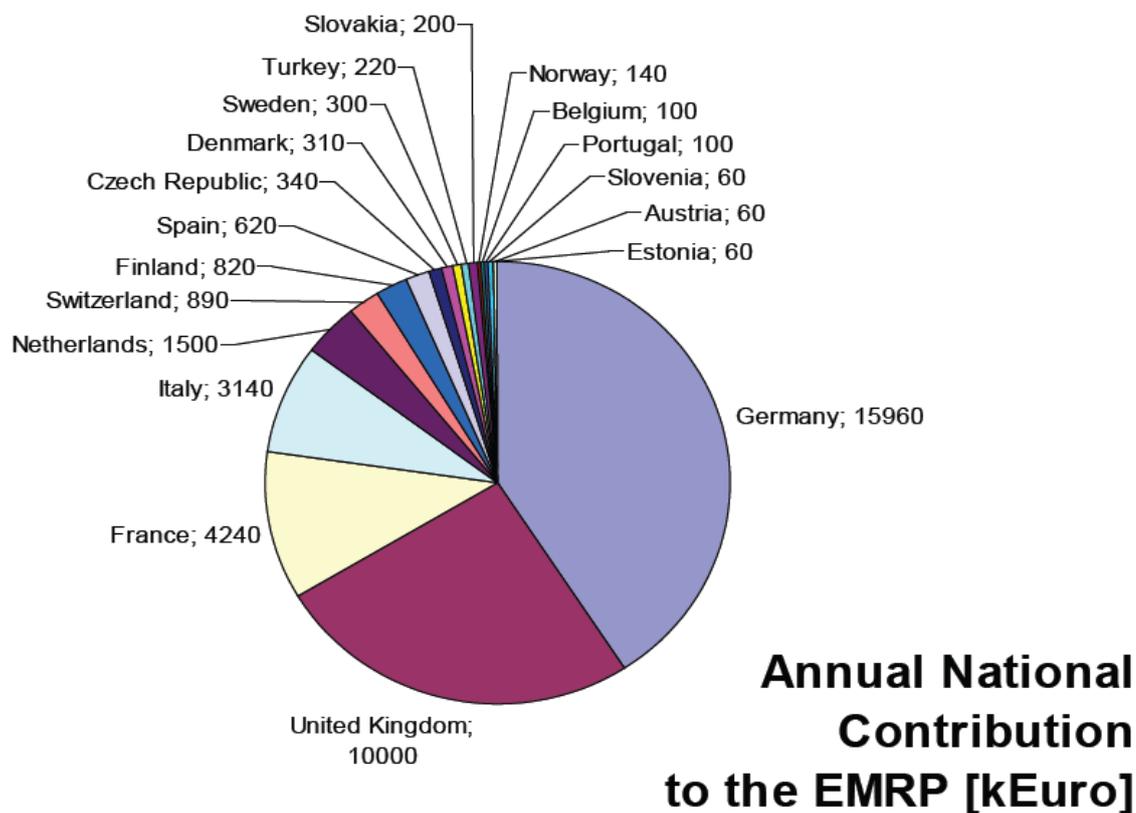


Fig. 5 – Contribución anual de cada Estado miembro al EMRP en kEuro

<sup>12</sup> En el anexo III se incluye documento de fundación de EURAMET. Para mayor información sobre el panorama de la metrología en Europa consultar en bibliografía el informe final de la Comunidad Europea y la Asociación Europea del Libre Comercio sobre el Panorama de la infraestructura metrológica en la Unión Europea realizado en el año 2002.

## **5. PANORAMA DE LA INFRAESTRUCTURA METROLOGÍCA EN ESPAÑA**

En la actualidad la Metrología en España está coordinada por el Consejo Superior de Metrología (CSM), órgano superior de asesoramiento y coordinación en materia de Metrología Científica, Técnica, Histórica y Legal. Tiene carácter interministerial, con la posibilidad de representación de las administraciones autonómica y local. A propuesta del MITyC se determina su estructura y funcionamiento en el Real Decreto 584/2006. En él se definen sus órganos:

- a) El Pleno, presidido por el Secretario general de Industria.
- b) La Comisión de Laboratorios Asociados al CEM.
- c) La Comisión de Metrología Legal.
- d) La Secretaria Técnica, asignada al CEM.

Por primera vez existe en España una organización oficial, operativa estructurada y única para la organización y promoción de la Metrología, a la que da una cobertura institucional. Su ubicación en el MITyC conecta y reconoce los esfuerzos precedentes llevados a cabo con éxito por el SCI. Simultáneamente la asignación de la Secretaria General al CEM respalda la actuación de este desde la promulgación de la Ley de Metrología hasta la fecha.

El rol fundamental del CSM, en el ámbito científico, es consolidar, coordinar y potenciar el conjunto no uniforme de instituciones y laboratorios españoles con responsabilidades metrológicas, y generar políticas de cooperación entre ellos.

## 5.1 PATRONES NACIONALES. LABORATORIOS PRIMARIOS

En España, las realizaciones prácticas de las unidades de medida (patrones nacionales)<sup>13</sup> y su diseminación al resto de usuarios de la metrología se realiza por el Centro Español de Metrología y sus Laboratorios Asociados según se ilustra en la figura 6



Fig. 6 – Estructura Metrológica en España

Todos ellos, forman la cúspide de la pirámide metrológica nacional, donde se establecen y mantienen los patrones primarios de las unidades de medida correspondientes al Sistema Internacional de Unidades (Sistema SI), declarado de uso legal en España por Ley 3/1985, de 18 de marzo, de Metrología. En la actualidad, los Laboratorios Asociados al CEM son los siguientes:

<sup>13</sup> Las disposiciones aplicables se incluyen como anexo IV de este documento

Laboratorio	Magnitud
Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA)	Tiempo, Frecuencia
Instituto de Física Aplicada (IFA-CSIC)	Fonometría y Radiometría
Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes, del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (LMRI-CIEMAT)	Radiaciones Ionizantes
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)	Humedad, Potencia, Impedancia y Ruido en alta frecuencia
Taller de Precisión y Centro Electrotécnico de Artillería (TPYCEA)	Atenuación eléctrica en alta frecuencia
Laboratorio Central Oficial de Electrotécnica (LCOE)	Alta Tensión Eléctrica
Centro Nacional de Sanidad Ambiental (Instituto de Salud Carlos III)	Ozono

Tabla. 1 – Laboratorios Asociados al CEM y magnitudes de las que se ocupan

Cabe reseñar, que a su vez, tres de los Laboratorios Asociados reseñados en la tabla anterior, del Ministerio de Defensa, (ROA, INTA y TPYCEA) se integran en el nivel de Referencia de los laboratorios de la Comisión Técnica Asesora de Metrología y Calibración de la Defensa (CTAMCD)<sup>14</sup>, garantizando la trazabilidad a patrones nacionales de los laboratorios de investigación, calibración y ensayo de dicho Ministerio, así como las distintos laboratorios y unidades de las Fuerzas Armadas, en particular.

<sup>14</sup> O. M. 122/2000, de 14 de abril por la que se crea la Comisión Técnica Asesora de Metrología y Calibración de la Defensa (BOD N° 82 de 27 de abril) y O. M. 227/2001, de 24 de octubre, por la que se aprueba el Reglamento por el que deberá regirse la CTAMCD (BOD N° 215, de 5 de noviembre).

### 5.1.1 Centro Español de Metrología



Creación del CEM: **Real Decreto 415/1985, de 11 de septiembre**

Definición de unidades Básicas: **ITC/2432/2006, de 20 de julio**

Definición de unidades derivadas: **ITC/2581/2006, de 28 de julio**

El Centro Español de Metrología (CEM) es un organismo autónomo adscrito a la Secretaría General de Industria del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. El CEM tiene establecidas, entre otras, las siguientes responsabilidades:

- Proponer la definición de las unidades legales de medida, conforme al Sistema Internacional de Unidades SI.
- Custodiar, conservar y diseminar los patrones nacionales de las unidades de medida.
- Establecer las cadenas oficiales de calibración: Anualmente se planifica, de mutuo acuerdo con otras organizaciones e instituciones, un programa común de trabajo en el que se incluyen las comparaciones nacionales que, coordinadas por el Centro Español de Metrología, se consideran necesarias para constatar la capacidad técnica de los laboratorios de calibración acreditados.
- Reglamentar el control metrológico del Estado sobre los instrumentos de medida. El Estado posee la capacidad legislativa en exclusiva en Metrología. El Centro Español de Metrología elabora los proyectos que establecen las distintas fases aplicables a los instrumentos de medida en el control metrológico, mientras que la ejecución del control metrológico corresponde a las Comunidades Autónomas.

- Desempeñar las funciones de Secretaría Técnica del Consejo Superior de Metrología.
- Velar por la corrección y exactitud de las medidas en defensa de la salud y seguridad ciudadanas, evitando fraudes en perjuicio de los consumidores. El Centro Español de Metrología actúa en campos sensibles a la salud y seguridad de los ciudadanos participando en grupos de trabajo, realizando encuestas, estudios comparativos, etc.
- Realizar las funciones de la Administración General del Estado en el Control Metrológico del Estado y en el Control Metrológico CEE.
- Gestionar el Registro de Control Metrológico. El CEM centraliza el Registro de Control Metrológico y expide certificados a petición de los interesados
- Ejecutar proyectos de Investigación y Desarrollo en materia de Metrología.
- Formar especialistas en Metrología. El CEM organiza cursos de formación en metrología destinados a los responsables de las mediciones en laboratorios de ensayo y de calibración y en PYMES, realiza jornadas de información y sensibilización, y elabora y publica procedimientos de calibración.
- Representar a España ante las organizaciones metroológicas internacionales. El CEM representa a España ante las siguientes organizaciones: CONVENCIÓN DEL METRO, Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), EUROMET, Western European Legal Metrology Cooperation (WELMEC), International Measurement Confederation (IMEKO). En el ámbito nacional, el CEM tiene firmados Convenios de colaboración con diferentes instituciones, organismos (ENAC, AENOR, etc.) y Universidades, que posibilitan y facilitan la actividad metroológica nacional.
- Mantener una estrecha cooperación con los organismos nacionales e internacionales relacionados con la metrología.
- Expedir certificados de calibración, de ensayo e informes técnicos. El CEM presta este servicio mediante el mantenimiento de bases de datos en las que se recoge toda la información necesaria en materia de metrología.
- Para llevar a cabo estos cometidos el CEM cuenta con instalaciones y laboratorios ubicados en Tres Cantos (Madrid).

El Centro Español de Metrología es el depositario de los patrones nacionales de las unidades básicas del Sistema Internacional de Unidad SI, correspondientes a las magnitudes de Masa, Longitud, Intensidad de Corriente Eléctrica y Temperatura Termodinámica; y de las unidades derivadas correspondientes a las magnitudes de: Presión, Fuerza, Volumen, Ángulo Plano y Densidad de Sólidos

<sup>15</sup>.

### 5.1.2 Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA)



Designación como Laboratorio Asociado al CEM: **Real Decreto 1308/1992, de 23 de octubre**

Definición del Patrón Nacional de Tiempo: **ITC 2432/2006, de 20 de julio**

El origen del Real Instituto y Observatorio de la Armada data de 1753 cuando Jorge Juan funda el Real Observatorio de Cádiz (trasladado a San Fernando en 1798). Es un Centro científico de la Armada que, a su misión específica como Observatorio Astronómico y Geofísico, une la de investigación en aquellos campos de la ciencia físico-matemática que se juzguen de interés para la Marina, así como la de proporcionar formación científica superior.

La misión del ROA dentro de la infraestructura metrológica nacional, incluye:

- La determinación, mantenimiento y difusión de las escalas de tiempo físico y astronómico, de acuerdo con los requisitos internacionales y la difusión de las mismas en la forma más conveniente para las distintas necesidades

<sup>15</sup> Dada la imposibilidad material de disponer de todos los patrones nacionales en el Centro, se viene constituyendo una red limitada de Instituciones que, una vez cumplidos los requisitos que se establecen para cada caso, son declaradas oficialmente depositarias de otros patrones nacionales, y sus Laboratorios como Asociados al Centro Español de Metrología.

científicas, de la navegación y de la industria nacional a través de la sección de hora.

- El asesoramiento en materia relacionada con la medida, conservación y distribución del tiempo, y en particular sobre el material de relojería y cronometría para uso de la Armada. Será responsable de la homologación de los cronómetros y certificará sobre la utilidad de los mismos a efectos de navegación.
- La adquisición, conservación, reconocimiento, clasificación, reparación y estudio de los equipos cronométricos destinados al servicio de la Armada y la reparación y estudio del material cronométrico de los buques mercantes que a tal fin le sea confiado.

La infraestructura del patrón nacional comprende una batería de relojes atómicos de haz de cesio, patrones primarios fundamentales de la frecuencia y tiempo, un máser de hidrógeno activo y un conjunto de patrones de rubidio, patrones secundarios de frecuencia. Con ellos se mantiene una escala de Tiempo Universal Coordinado propia, UTC (ROA), contrastada permanentemente por la Sección de Hora de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) y cuyas diferencias con el Tiempo Universal Coordinado se publican periódicamente. Esta escala es la que en la actualidad rige oficialmente la Hora en España y se difunde, desde 1976, con una emisora de 1 kW. La escala se difunde asimismo vía telefónica, mediante un protocolo de difusión de información horaria ampliamente extendido en Europa, y a través de Internet, siguiendo el estándar NTP.

El Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando participa activamente en la intercomparación de su escala de tiempo con los laboratorios de tiempo del resto del mundo, contribuyendo con sus relojes en la generación del tiempo Atómico Internacional.

### 5.1.3 Instituto de Física Aplicada (IFA-CSIC)



Designación como Laboratorio Asociado al CEM: **Real Decreto 1219/1992, de 2 de octubre**

Definición del Patrón Nacional de intensidad luminosa: **ITC 2432/2006, de 20 de julio**

Definición del Patrón Nacional de flujo luminoso: **ITC/2581/2006, de 28 de julio.**

El Instituto de Física Aplicada, es un centro propio del CSIC, creado en 1995 que desarrolla su actividad dentro del Área de la Física y las Tecnologías Físicas.

La misión del Instituto de Física Aplicada (IFA) es realizar investigación de calidad, en Física y en sus Tecnologías, y contribuir al avance del conocimiento, formación y transferencia de tecnología en: medida de radiación óptica, electromagnetismo, seguridad de la información, sensores, láminas delgadas, propagación ondulatoria en sistemas no homogéneos y antenas, que satisfagan las necesidades y expectativas de la Sociedad, aportando la innovación necesaria que asegure un desarrollo sostenible.

Como Laboratorio depositario de los Patrones Nacionales de Intensidad luminosa (candela) y flujo luminoso (lumen), da trazabilidad en esas magnitudes a numerosos laboratorios de calibración y ensayo. Es a su vez miembro de pleno derecho del Comité Consultivo para la Fonometría y la Radiometría (CCPR) del BIPM y miembro del Photometry and Radiometry Technical Committee (PHORA) de EUROMET.

El IFA dispone además de otros patrones reconocidos internacionalmente e incluidos en las Capacidades de Medida y Calibración (CMC) reconocidas por el CIPM en las áreas de fotometría (iluminancia, iluminancia.), radiometría óptica

(irradiancia espectral, responsividad espectral de fotodetectores, potencia láseres), espectrorradiometría (transmitancia espectral regular y difusa, reflectancia espectral regular y difusa, absorbancia espectral), colorimetría (temperatura de color, color de superficies reflectantes, color por transmisión) y metrología de fibras ópticas (medidores de potencia, longitud de onda y dispersión cromática).

#### 5.1.4 Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes, del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (LMRI-CIEMAT)



Designación como Laboratorio Asociado al CEM: **Real Decreto 533/1996, de 15 de marzo.**

Depositario de los Patrones Nacionales de actividad (de un radionucleido), exposición (rayos  $\alpha$  y  $\gamma$ ), kerma y dosis absorbida: **ITC/2581/2006, de 28 de julio.**

El CIEMAT, Organismo Público de Investigación, adscrito al Ministerio de Educación y Ciencia, tiene por finalidad la promoción y desarrollo de actividades de investigación básica, investigación aplicada, e innovación y desarrollo tecnológicos, con especial atención al ámbito energético y medioambiental. Dentro de la Secretaría General del Organismo se ubica el Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes.

El LMRI cuenta con una trayectoria y experiencia de más de 40 años en metrología de radiaciones ionizantes, acreditadas por su participación en intercomparaciones y colaboraciones, a nivel internacional con el BIPM, a nivel europeo con EUROMET y otros laboratorios de patrones nacionales de otros

países, y a nivel nacional con el Centro Español de Metrología, el Consejo de Seguridad Nuclear y universidades.

El LMRI tiene los siguientes objetivos:

- Establecer, mantener y diseminar en nombre del Estado los patrones nacionales de las unidades SI de actividad (becquerel), kerma (gray) y dosis absorbida (gray).
- Asumir la representación nacional en el campo de la metrología de las radiaciones ionizantes ante organismos internacionales.
- Asegurar la trazabilidad internacional de los Patrones Nacionales para radiaciones ionizantes

Para cumplir sus objetivos, el LMRI debe asegurar, al mismo tiempo que la trazabilidad internacional, la coherencia de las medidas de radiaciones ionizantes dentro del país en todos los sectores, industria, sanidad o investigación, y en aplicaciones tan diversas como las calibraciones y ensayos industriales, la radioprotección laboral, la radioterapia, la medicina nuclear, las técnicas de experimentación con radionucleidos, o la vigilancia radiológica ambiental.

El LMRI mantiene los siguientes patrones nacionales:

- Patrón nacional correspondiente a la magnitud actividad (de un radionucleido)
- Patrón nacional correspondiente a la magnitud kerma (rayos X y  $\gamma$ )
- Patrón nacional correspondiente a la magnitud dosis absorbida.

El LMRI establece y mantiene los patrones nacionales para radiaciones ionizantes mediante el desarrollo de técnicas y procedimientos de detección y medida para la caracterización de parámetros nucleares a través de dos instalaciones radiactivas especializadas:

- IR-13: Laboratorios de Metrología de Radionucleidos, donde se utilizan las técnicas de medida apropiadas para caracterizar metrológicamente los procesos de desintegración y emisión de radiación, que permiten definir los

patrones nacionales de la magnitud Actividad de radionucleidos para emisores  $\alpha$ ,  $\beta$  o  $\gamma$ .

- IR-14: Laboratorios de Patrones Dosimétricos, donde se utilizan las técnicas de medida apropiadas para caracterizar metrologicamente los procesos de interacción de la radiación emitida con la materia en términos de la energía depositada, que permiten definir los patrones nacionales de las magnitudes Kerma y Dosis absorbida, para fotones  $\gamma$  ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ), X (calidades ISO 4037 de 10 a 300 kV) o  $\beta$  ( $^{147}\text{Pm}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ).

### 5.1.5 Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)



Designación como Laboratorio Asociado al CEM: **Real Decreto 346/2001, de 4 de abril y Real Decreto 250/2004, de 6 de febrero**

Depositario de los Patrones Nacionales de humedad, potencia, ruido e impedancia en alta frecuencia: **ITC/2581/2006, de 28 de julio.**

El INTA es el Organismo Público de Investigación, adscrito al Ministerio de Defensa, especializado en la investigación y desarrollo tecnológico aeroespacial. Entre sus principales funciones cabe destacar la adquisición, mantenimiento y mejora continuada de todas aquellas tecnologías de aplicación en el ámbito aeroespacial, la realización de todo tipo de ensayos para comprobar y certificar materiales, componentes, equipos, subsistemas y sistemas de aplicación en el campo aeroespacial, el asesoramiento técnico y la prestación de servicios a entidades y organismos oficiales, así como a empresas industriales o tecnológicas y la actuación como centro tecnológico del Ministerio de Defensa.

Dentro de la Subdirección General de Experimentación y Certificación se ubica el Centro de Metrología y Calibración, donde se mantienen los siguientes patrones nacionales:

- Humedad
- Potencia en alta frecuencia
- Impedancia en alta frecuencia
- Ruido electromagnético en alta frecuencia

El patrón nacional de la magnitud humedad, está materializado mediante generadores de humedad de precisión, utilizando el principio de saturación de un gas a una temperatura y presión conocidas y su posterior expansión.

Los patrones nacionales de la unidad de potencia, impedancia y ruido electromagnético en alta frecuencia, están materializados por medio de sensores de tipo termistor con conectores coaxiales, estabilizados en temperatura y asociados a un medidor de potencia dual, líneas de aire de precisión de impedancia característica nominal de 50  $\Omega$ , cuyo valor depende de las dimensiones mecánicas de sus conductores y fuentes de ruido de estado sólido definidos por su Temperatura de ruido equivalente (kelvin) o Relación de Exceso de Ruido (dB), respectivamente.

Estos patrones se conservan mediante la comparación periódica efectuada con patrones de humedad de organismos metrológicos de otros Estados a través de las comparaciones Clave del CIPM y EUROMET que aseguran la competencia técnica y garantizan la aceptación internacional de la trazabilidad de los patrones nacionales del INTA.

### 5.1.6 Taller de Precisión y Centro Electrotécnico de Artillería (TPYCEA)



Designación como Laboratorio Asociado al CEM: **Real Decreto 346/2001, de 4 de abril**

Definición del Patrón Nacional de atenuación en alta frecuencia: **ITC/2581/2006, de 28 de julio.**

El Taller de Precisión y Centro Electrotécnico de Artillería (TPYCEA) fue fundado por Real Orden de 26 de febrero de 1898, en el mismo emplazamiento que, desde entonces, sigue ocupando en la calle Raimundo Fernández Villaverde de Madrid.

Encajado en la Dirección General de Armamento y Material, del Ministerio de Defensa, las misiones encomendadas al Centro son:

- Metrología y calibración
- Ensayos
- Investigación y desarrollo
- Proyectos y estudios técnicos
- Fabricación de prototipos y pequeñas series
- Asesoramiento técnico y apoyo a los Cuarteles Generales,

a las que pueden añadirse la emisión de informes, participación en comisiones y grupos de trabajo, a escala tanto nacional como internacional, y apoyo a organismos y empresas civiles.

El TPYCEA mantiene el patrón nacional de la unidad de atenuación en alta frecuencia, que está materializado mediante un atenuador de pistón de guía de onda circular, que trabaja por debajo de la frecuencia de corte (30 MHz), cuyo

valor depende de la distancia física de dos bobinas y un sistema de medida de atenuación por sustitución en doble canal paralelo.

Este patrón se conserva mediante comparaciones periódicas efectuadas con patrones de atenuación en alta frecuencia de organismos metroológicos de otros Estados.

### 5.1.7 Laboratorio Central Oficial de Electrotécnia (LCOE)

Designación como Laboratorio Asociado al CEM: **Real Decreto 346/2001, de 4 de abril.**



FUNDACION PARA EL FOMENTO  
DE LA INNOVACION INDUSTRIAL

Definición del Patrón Nacional de intervalo de alta tensión eléctrica (superior a 1000 V): **ITC/2581/2006, de 28 de julio.**

El Laboratorio Central Oficial de Electrotecnia (LCOE), con más de 50 años de vida desde que fuera creado por Orden Ministerial conjunta de los Ministerios de Industria, Comercio y Educación Nacional en 1949, está encuadrado actualmente en la Fundación para el Fomento de la Innovación Industrial (FFII).

La FFII fue creada el 1 de enero de 1994 por el Ministerio de Industria y Energía y por la Universidad Politécnica de Madrid, estado ubicada en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid. La FFII es una organización sin ánimo de lucro para el desarrollo de trabajos y proyectos tecnológicos y de I+D+i. En la actualidad cuenta con más de 140 personas en su plantilla, y realiza anualmente más de siete mil informes, ensayos y calibraciones para el sector industrial.

Desde la creación del LCOE hasta la actualidad su actividad principal se centra en las medidas y verificaciones eléctricas. Dentro del LCOE el Departamento de Alta Tensión se ocupa de las medidas en el campo de la alta tensión eléctrica, participando en el Grupo de Trabajo internacional de la CIGRE *Advisory Group D1.33 "High voltage Testing and Measuring Techniques"*, en el que colabora con otros Laboratorios de Referencia tales como PTB (Alemania), HUT (Finlandia), SP (Suecia), etc., para el desarrollo de criterios de homogeneización de las técnicas de medida en alta tensión eléctrica, en coordinación con el Comité Técnico de CENELEC, GT42.

El LCOE mantiene el patrón nacional de la magnitud tensión eléctrica correspondiente al intervalo de medida de alta tensión eléctrica (superior a 1000 V). El patrón nacional de la magnitud tensión eléctrica, cuya unidad es el volt (V), correspondiente al intervalo de medida de alta tensión eléctrica (superior a 1000 V), en corriente continua hasta 240 kV, en corriente alterna (50 Hz) hasta 240 kV, de impulsos tipo rayo (1,2-50  $\mu$ s) hasta 600 kV, y de impulsos tipo maniobra (250-2500  $\mu$ s) hasta 500 kV.

El patrón está materializado mediante divisores resistivos y capacitivos, transformadores de tensión eléctrica inductivos y sistemas basados en diodos Zener.

Este patrón se conserva mediante comparaciones periódicas efectuadas con patrones de alta tensión eléctrica de otros Institutos Nacionales de Metrología y del BIPM.

### 5.1.8 Centro Nacional de Sanidad Ambiental (Instituto de Salud Carlos III)



Designación como Laboratorio Asociado al CEM: **Real Decreto 250/2004, de 6 de febrero.**

Definición del Patrón Nacional de Ozono: **ITC/2581/2006, de 28 de julio.**

Es un organismo público de investigación y de apoyo científico de carácter nacional que tiene la responsabilidad de fomentar la investigación en biomedicina y ciencias de la salud. La misión es desarrollar y ofrecer servicios científico-técnicos de la más alta calidad dirigidos al Sistema Nacional de Salud y al conjunto de la sociedad.

El Instituto de Salud Carlos III fue creado por la Ley 14/1986, de 25 de abril, General de Sanidad con la naturaleza de organismo autónomo, adscrito al Ministerio de Sanidad y Consumo.

Con fecha 6 de abril de 2001 se aprobó su Estatuto ( BOE 27 de abril de 2001 ) modificado mediante Real Decreto 590/2005, de 20 de mayo ( BOE de 30 de mayo de 2005 ). Esta dirigido por el Consejo Rector, órgano integrado por representantes de otros departamentos ministeriales y de de las comunidades autónomas, por profesionales de reconocido prestigio científico o sanitario y por el Director, que tiene rango de director general.

Para contribuir a la vertebración de la investigación en el Sistema Nacional de Salud, el Instituto de Salud Carlos III, se asocia a los Centros de Investigación del Sistema Nacional de la Salud, acredita institutos y redes de investigación cooperativa para concentrar la investigación en los objetivos previstos y fomento

de la investigación de excelencia, así como facilita sus propios recursos de investigación.

Las funciones que tiene el Instituto se especifican en la Ley 14/1986, General de Sanidad y en la Ley 16/2003, de 28 de mayo, de cohesión y calidad del Sistema Nacional de Salud, que desarrolla en coordinación con el Consejo Interterritorial de Salud y otras Administraciones Públicas y en el marco del Plan Nacional de I+D+i y de los programas marco de la unión europea.

Como Laboratorio depositario del patrón nacional de ozono en el panorama metroológico nacional, el ISCIII da trazabilidad a los patrones de transferencia de ozono utilizados en las distintas Comunidades Autónomas para calibrar los analizadores de ozono con los que se mide la calidad del aire debida al ozono, según el Real Decreto 1796/2003, de 26 de diciembre, relativo al ozono en el aire ambiente.

Además da trazabilidad a los laboratorios acreditados según Norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2005 para la calibración de analizadores de ozono en aire ambiente y a los laboratorios y entidades públicas o privadas que lo solicitan

El ISCIII a través del Área de Contaminación Atmosférica, donde esta el patrón nacional de ozono es miembro de AQUILA (National Air Quality Reference Laboratories Association) y participa periódicamente en intercomparaciones en Euromet y con la UE a través de su Laboratorio de Referencia.

El patrón nacional de ozono consiste en un fotómetro de referencia NIST (National Institute of Standards and Technology) que mide mediante fotometría UV, concentraciones de ozono generadas dinámicamente. Este fotómetro se conserva mediante comparaciones periódicas con el fotómetro ultravioleta de referencia perteneciente al NIST y mediante comparaciones con los patrones nacionales de otros Institutos Nacionales de Metrología.

### 5.1.9 Recursos humanos e inversiones

La dimensión de la infraestructura metrológica nacional y la comparación de los recursos dedicados en España en relación con otros países es de vital importancia a la hora de valorar el patrimonio metrológico con el que cuentan los ciudadanos de nuestro país. En este apartado se muestra la evolución de los recursos humanos (personal técnico) e inversiones en equipamiento en los últimos años<sup>16</sup> y se realiza una comparativa con algunos países de nuestro entorno, considerados líderes en materia metrológica.

La figura 7 muestra la evolución del personal técnico dedicado a los patrones nacionales en el conjunto del CEM y los Laboratorios Asociados.

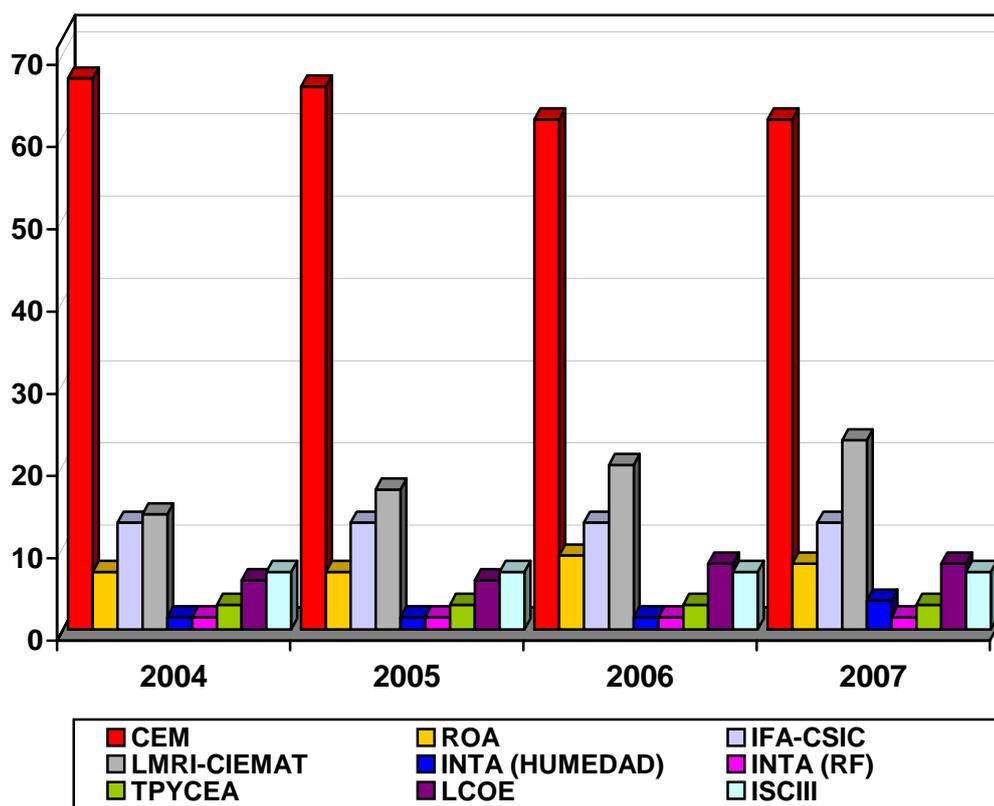


Fig. 7: Evolución del personal técnico por Laboratorio

Los recursos humanos disponibles en el conjunto CEM + LLAA comprenden 129<sup>17</sup> personas expertas en metrología de las que 88 son Doctores, Titulados Superiores o Titulados Medios. La distribución relativa de personal se aprecia en la figura 8, donde cabe destacar que la masa crítica de métrólogos está repartida prácticamente a partes iguales entre el CEM y el conjunto de los Laboratorios Asociados.

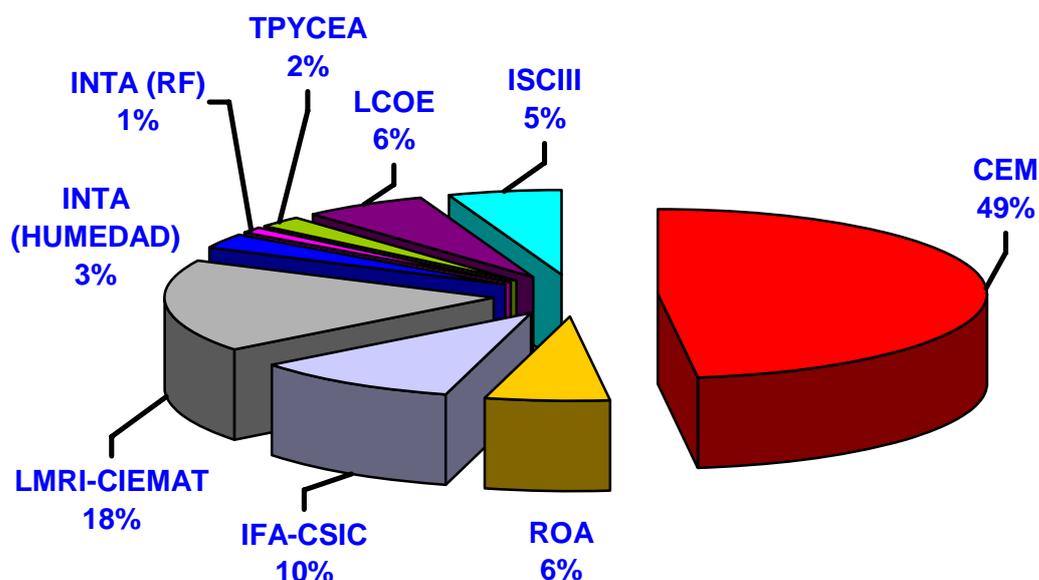


Fig. 8: Distribución de personal técnico en el CEM y LLAA

La figura 9 muestra la evolución de las inversiones en equipamiento dedicado a los patrones nacionales en el conjunto del CEM y los Laboratorios Asociados. Cabe reseñar que el nivel de inversiones en equipamiento en el caso del CEM en los últimos cuatro años es muy superior al conjunto de los LLAA. Esta situación es en parte debida a que las inversiones en el CEM se corresponden fundamentalmente a la creación de nuevas áreas o la potenciación al más alto

<sup>16</sup> En el anexo VII se exponen datos de personal e inversiones del CEM y LLAA correspondiente al período 2004 - 2007

<sup>17</sup> No incluye personal administrativo o en otras actividades.

nivel de un gran número de ellas, mientras que estas grandes inversiones ya han sido realizadas en los LLAA en ejercicios anteriores y las inversiones realizadas por éstos en los últimos cuatro años han sido principalmente dedicadas al mantenimiento y diseminación de los patrones actuales, no coincidiendo el ciclo de inversiones. Hay que destacar, que tanto en el CEM como en los LLAA se ha realizado también un importante esfuerzo en infraestructuras, no reflejado en los datos económicos expuestos.

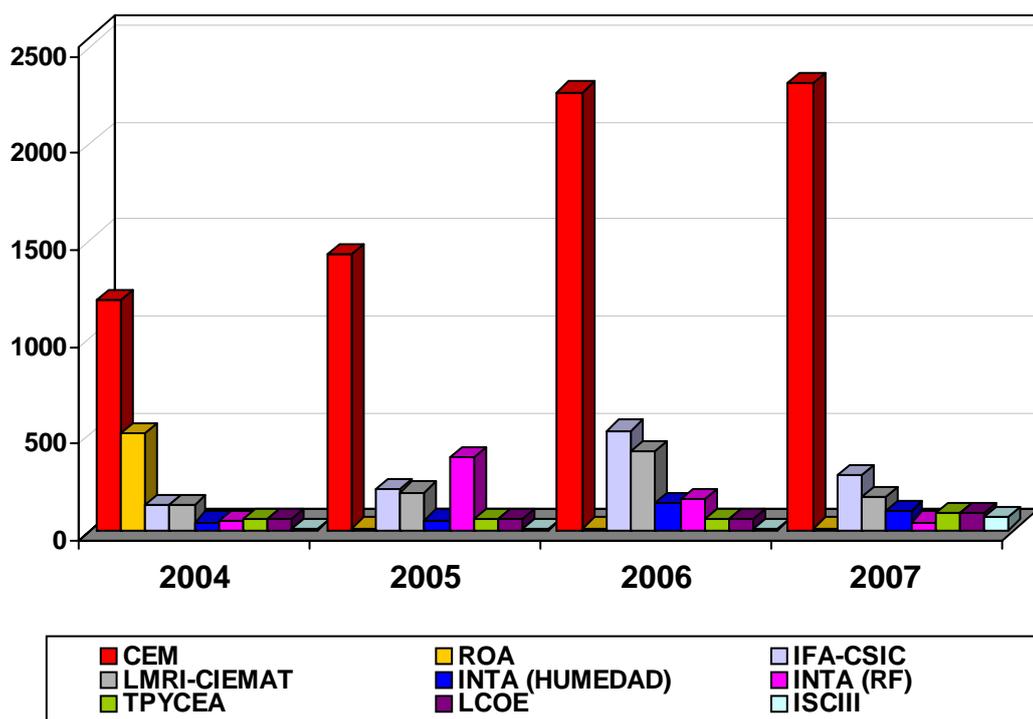


Fig. 9: Evolución de las inversiones en equipamiento por Laboratorio

El promedio en los últimos cuatro años de la inversión anual del conjunto en equipamiento metrológico es de 2 837 k€ de los que 63 % corresponde al CEM, como se desglosa en la siguiente figura.

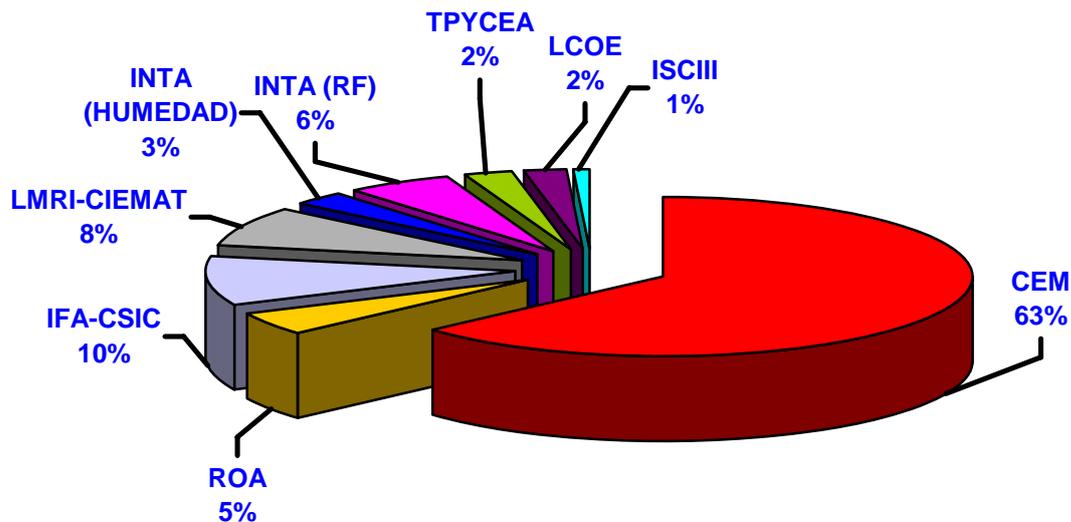


Fig. 10: Distribución de inversiones en equipamiento en el CEM y LLA

En las siguientes figuras se presenta la información de recursos humanos e inversiones en equipamiento del conjunto del CEM y los Laboratorios Asociados, en relación con los INM de Alemania, Francia, Reino Unido y Suiza.

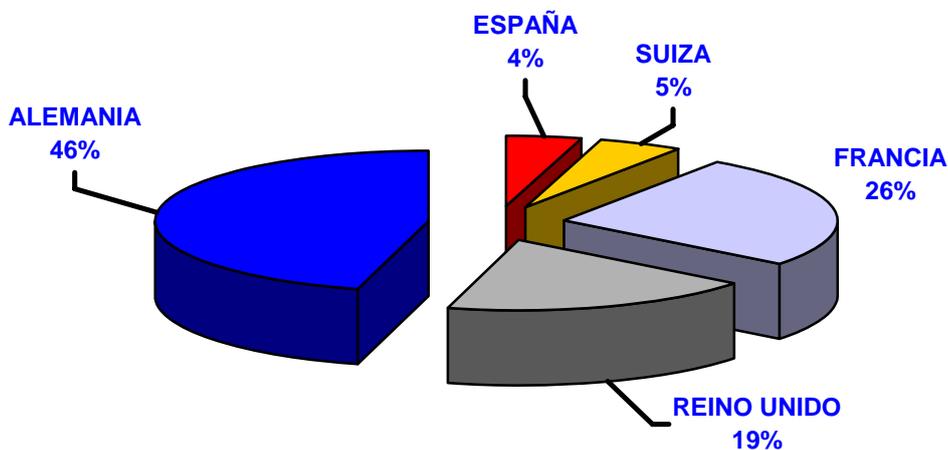


Fig. 11: Distribución de personal técnico en algunos países de nuestro entorno

Si se analiza la dimensión relativa del esfuerzo, expresado como el ratio del número de personal técnico, de estos países frente al conjunto del CEM y los Laboratorios Asociados es, de 10,6 a 1; 6,1 a 1; 4,3 a 1 y 1,2 a 1, respectivamente.

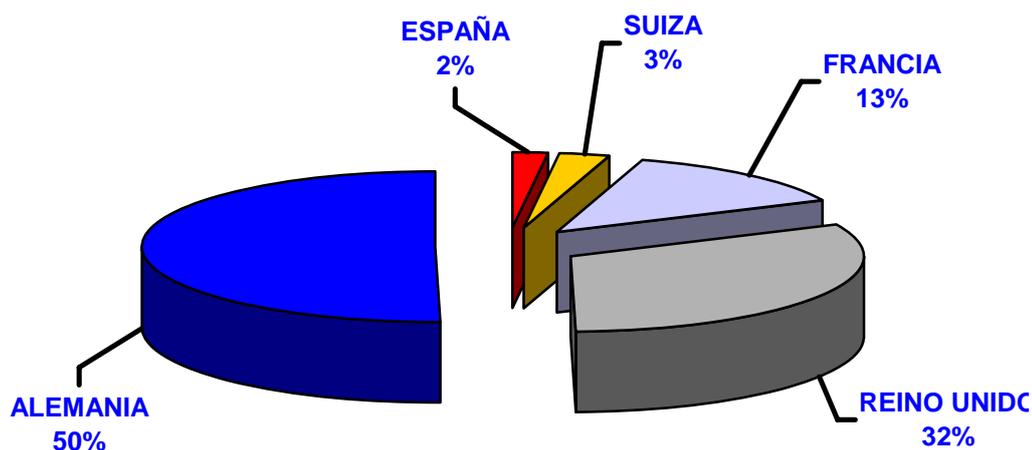


Fig. 12: Distribución de inversiones en algunos países de nuestro entorno

Uno de los retos que afrontan los INM, no solo en España, es el elevado tiempo y coste necesario para formar personal especializado y altamente cualificado en metrología, así como para mantener una masa crítica estable en los equipos de investigación y desarrollo.

Tal como se plantea mas adelante en este documento, en las acciones propuestas a medio y largo plazo, en España, para afrontar con éxito este reto, se considera estratégico promover la colaboración del CEM y los LLAA con los centros de investigación, la universidad y la industria, facilitar la permeabilidad de conocimientos y de investigadores, habilitar mecanismos más flexibles para la contratación de investigadores e implicar a las autoridades territoriales con capacidad de activar acciones de fomento industrial.

Resulta conveniente articular políticas sobre la propiedad intelectual que incentiven a los investigadores al tiempo que garanticen retornos a los centros que los emplean. En este sentido es posible y compatible potenciar la permeabilidad del personal al tiempo que se potencia la estabilidad.

## **5.2 DISEMINACIÓN DE LOS PATRONES NACIONALES**

La metrología, normalización y evaluación de la conformidad son herramientas operativas utilizadas por las empresas y los gobiernos para la optimización de la producción, salud, protección del consumidor, medioambiente, seguridad y calidad [22]. Su implantación, apoya el desarrollo sostenible y bienestar social y facilita el comercio.

Son los pilares firmes del conocimiento en los que se soporta en el desarrollo de una infraestructura técnica de forma sostenible, asegurando la participación plena en el comercio internacional. Los tres pilares que se describen son independientes entre si, pero juntos dan estabilidad, pues la Metrología y los patrones físicos proporcionan la base de las medidas exactas, cuyo comportamiento aceptado y reconocido se puede documentar en normas internacionales para ser utilizados, a su vez, como base de la evaluación de la conformidad.

La diseminación de las unidades de medida por todo el país, desde el nivel primario hasta las mediciones realizadas en la industria, el comercio, la ciencia, la educación o los servicios, manteniendo una trazabilidad demostrable a los patrones nacionales, es el objetivo final de la metrología materializada en el CEM y sus Laboratorios Asociados. En España el reconocimiento de la competencia técnica de los laboratorios de calibración y ensayo recae en la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) que es a su vez miembro de EA, cuya función fue descrita en el panorama europeo.

En nuestro país, el sistema de calidad y competitividad industrial está soportado fundamentalmente por los tres sectores básicos de la infraestructura (la metrología, la acreditación, y la normalización) a través del CEM y sus LLAA, ENAC y AENOR, respectivamente. La separación en tres entidades es una ventaja ya que son organismos especializados que actúan de forma coordinada en su ámbito competencial.

En los siguientes apartados se detallan los principios básicos de los tres pilares que aseguran la diseminación de los patrones nacionales españoles a través de toda la infraestructura nacional de la calidad.

### **5.2.1 Metrología**

La metrología, ampliamente descrita en los apartados anteriores, incluye el trabajo de los Institutos Nacionales de Metrología y sus laboratorios designados (en España, LLAA) y de los tratados internacionales como la Convención del Metro, que otorga la autoridad al CIPM y el BIPM para actuar en el campo de los patrones nacionales de medida en un nivel creciente de excelencia, margen y diversidad, para satisfacer las necesidades metroológicas que están en continuo desarrollo. La necesidad de demostrar la equivalencia entre patrones nacionales de distintos países y el marco que proporciona el acuerdo de reconocimiento mutuo del CIPM para asegurar la solvencia científica y técnica de la trazabilidad y su contribución e impacto sobre los acuerdos más amplios relacionados con el comercio internacional ya han sido expuestos. Sin duda, estos aspectos contribuyen decisivamente a eliminar las barreras técnicas al comercio y establecer una mayor confianza en las capacidades de medida nacionales. El resultado se traduce en un incremento de comercio a nivel global de billones de euros.

### **5.2.2 Acreditación**

La acreditación es la constatación por tercera parte relacionado con una entidad de evaluación de la conformidad que confiere una prueba formal de su competencia para desempeñar las tareas de evaluación de la competencia (ISO/IEC 17000). La implantación de sistemas de acreditación basados en normas y guías internacionales y ligados con los acuerdos de reconocimiento mutuo de ILAC e IAF puede proporcionar confianza a los socios comerciales acerca de la competencia técnica de los proveedores de certificados de calibración y ensayo. A su vez, contribuye decisivamente a superar las barreras técnicas al comercio y al cumplimiento de los requisitos del acuerdo WTO/TBT.

La evaluación de la conformidad desempeña un papel crítico en el fomento de la confianza para el desarrollo y comercio sostenibles. La Norma Internacional ISO/IEC 17000 define la evaluación de la conformidad como “la demostración de que requisitos específicos referentes a un producto, proceso, sistema, persona o entidad se cumplen”

Los procedimientos de evaluación de la calidad, como los ensayos, inspección y certificación, ofrecen la confianza de que los productos cumplen los requisitos especificados en las reglamentaciones y normas. La evaluación de la calidad es específica al objeto evaluado (sea un producto, proceso o sistema de gestión) y la entidad evaluadora. Por ejemplo, puede ser la primera parte, un fabricante de un producto que realiza una declaración de conformidad de suministrador usando su propio sistema de ensayo o una inspección o certificación de tercera parte, realizada por un proveedor de servicios independiente. Dicho proveedor puede ser una agencia gubernamental o una empresa privada.

Cada organización debe decidir que tipo de evaluación es adecuada para cada cometido. Una de las decisiones cruciales es sobre la obligatoriedad de evaluación de la conformidad mediante disposiciones gubernamentales en

sectores específicos o si por el contrario, depender de la decisión del propio mercado de forma voluntaria en las transacciones comerciales normales entre la parte compradora y vendedora. Esta decisión debe basarse en una valoración de los riesgos asociados a un proceso en particular el conocimiento del impacto de los costes asociados y los beneficios obtenibles sobre la consecución de un desarrollo sostenible.

La acreditación, dentro de la UE surge asociada al proceso de desarrollo del mercado común, como herramienta que favorece la eliminación de barreras técnicas, trabas a la comercialización de productos.

Con ese origen es fácil entender por qué las primeras experiencias de su aplicación se realizaron inicialmente en el campo de los laboratorios de ensayo, y posteriormente de calibración, al ser estos los organismos de evaluación de la conformidad más directamente implicados en la determinación de las características técnicas de los productos.

En ese contexto, el MINER, ante la necesidad de dar respuesta a las necesidades de la industria española, cumpliendo con los requisitos que a nivel normativo se planteaban para la acreditación, tanto en Europa como internacionalmente, decide dar un giro a las actividades de acreditación que venía desarrollando.

En el año 1986 crea, con la colaboración de una serie de laboratorios que estaban acreditados directamente por este Ministerio para sus actividades reglamentarias, la Red Española de Laboratorios de Ensayo (RELE). RELE surge para administrar un sistema de evaluación de la competencia técnica de los laboratorios de ensayo y de calibración.

Posteriormente, siguiendo la doctrina comunitaria y con objeto de dar servicio a cualquier otro sector técnico, RELE se convierte en la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC), constituida conforme a la Ley de Industria y al Reglamento

para la Infraestructura de la Calidad y Seguridad Industrial, con la finalidad de acreditar organismos que realizan actividades de evaluación de la conformidad, incorporando a sus funciones la acreditación de Entidades de Inspección, de Certificación Verificadores Medioambientales y Proveedores de Programas de Intercomparación.

La acreditación proporciona un aval de confianza y garantía, poniendo a disposición del mercado un conjunto de organismos que han demostrado su competencia técnica mediante un proceso de evaluación único, transparente, reproducible y con plena aceptación internacional.

En estos años, tanto el número de laboratorios acreditados como el de las disciplinas técnicas en las que actúan ha crecido de forma continua, hasta alcanzar actualmente la cifra de 494 laboratorios de ensayo y 136 laboratorios de calibración acreditados.

Este crecimiento cuantitativo ha ido acompañado de una evolución en cuanto a las características de los mismos, en gran medida paralela a la evolución de las necesidades del mercado. Si el sector industrial ha sido clásicamente, en todo el mundo, el motor impulsor de esta actividad, en la actualidad sectores como el agroalimentario, construcción o medioambiente, se encuentran en un proceso muy activo de utilización de la acreditación como garante de la competencia técnica. Así, es cada vez mayor número de laboratorios de ensayo acreditados en estas áreas, en todo el territorio nacional.

En el caso del laboratorio de calibración se ha pasado de contar con laboratorios oficiales, con un alto nivel metrológico, acreditados para una única área de calibración, y localizados en determinadas grandes ciudades a contar en la actualidad, en la práctica totalidad de las comunidades autónomas, con laboratorios, públicos o privados, que abarcan distintas áreas de calibración y que prestan sus servicios a todo tipo de industrias.

La Entidad Nacional de Acreditación es una organización auspiciada y tutelada por la Administración que se constituye con arreglo a lo dispuesto en la Ley de Industria 21/1992 y al Real Decreto 2200/95 por el que se aprueba el Reglamento para la Infraestructura de la Calidad y Seguridad Industrial.

ENAC es una entidad privada, independiente y sin ánimo de lucro cuya función es coordinar y dirigir en el ámbito nacional un Sistema de Acreditación conforme a criterios y normas internacionales.

ENAC acredita organismos que realizan actividades de evaluación de la conformidad, sea cual sea el sector en que desarrolle su actividad, su tamaño, su carácter público o privado, o su pertenencia a asociaciones o empresas, universidades u organizaciones de investigación.

- Laboratorios de calibración y ensayo
- Entidades de Inspección
- Entidades de Certificación
- Verificadores Medioambientales
- Proveedores de Programas de Intercomparación

La Administración, tanto central como autonómica, utiliza las acreditaciones de ENAC en sus respectivos ámbitos de competencia en sectores tales como el industrial, agroalimentario, medioambiente, defensa, construcción, sanidad, telecomunicaciones, metrología, etc.

Asimismo ENAC evalúa a los laboratorios de ensayo, entidades de inspección y entidades de certificación de producto y de sistemas de calidad de cara a su designación por las Administraciones competentes como Organismos Notificados para el cumplimiento de Directivas.

Por otro lado, y como respuesta a las crecientes exigencias de garantías requeridas por el mercado, tanto a nivel de la propia industria como del consumidor final, en muchos sectores de actividad se han puesto en marcha sistemas de evaluación de la conformidad de carácter voluntario, con objeto de evidenciar un nivel técnico mínimo, así como garantizar la competencia en condiciones de igualdad, y que incorporan la acreditación de ENAC como una necesidad. Tal es el caso de las distintas iniciativas que se están desarrollando en sectores tales como el agroalimentario, aeronáutico, etc.

Las empresas necesitan tener seguridad de que los resultados que les proporcionan sus equipos de medida son correctos ya que estos se utilizan en actividades claves para la empresa, como por ejemplo, para asegurar que las variables de los diferentes procesos se mantienen dentro de límites aceptables o dentro de las tolerancias fijadas, para asegurar la calidad o la seguridad de sus procesos, productos o servicios, o para tener los datos necesarios para la realización de análisis y la toma de decisiones importantes.

Si los resultados de sus medidas no son fiables, pueden tomarse decisiones equivocadas o estar ofreciendo un producto o un servicio que no cumplan con las especificaciones con las que fueron diseñados y que exige el cliente o que no sea conforme con requisitos obligatorios establecidos por la ley.

Por eso es necesario tener un estricto control de los equipos de medida, este control debe incluir un uso y mantenimiento adecuado y someterlos a un plan de calibración que nos garantice su trazabilidad respecto a las unidades de medida del Sistema Internacional y nos proporcione información fiable sobre sus errores e incertidumbres.

En el siguiente eslabón de la cadena de trazabilidad, tras el CEM y los Laboratorios Asociados, los laboratorios de calibración acreditados garantizan la trazabilidad y la fiabilidad de los resultados de una calibración, ya que la

acreditación es una herramienta creada precisamente para asegurarse del cumplimiento de estos extremos.<sup>18</sup>

El esquema de la disseminación y trazabilidad de la infraestructura metrológica nacional se representa en la figura 7.



Fig.7 – Disseminación y trazabilidad nacionales

Es el concurso del CEM, los Laboratorios Asociados, laboratorios de Calibración y Ensayo acreditados lo que constituye la base de la infraestructura metrológica nacional. Para que esta infraestructura proporcione el servicio que la industria nacional y la sociedad en su conjunto requiere, es necesario que los patrones nacionales que muestra el nivel 1 de la figura anterior, gocen del necesario reconocimiento internacional y de un nivel técnico adecuado para los servicios de los laboratorios y empresas más exigentes.

<sup>18</sup> Para mayor información se puede consultar la página web: <http://www.enac.es>

El efecto cascada de la trazabilidad desde el nivel 1 a los niveles sucesivos se observa claramente si se evalúa el crecimiento e incidencia de los laboratorios acreditados en los últimos años [23]. Las figuras 8 y 9 muestran la evolución del número de laboratorios y el número de acreditaciones en los últimos años de calibración y ensayo, respectivamente.<sup>19</sup>

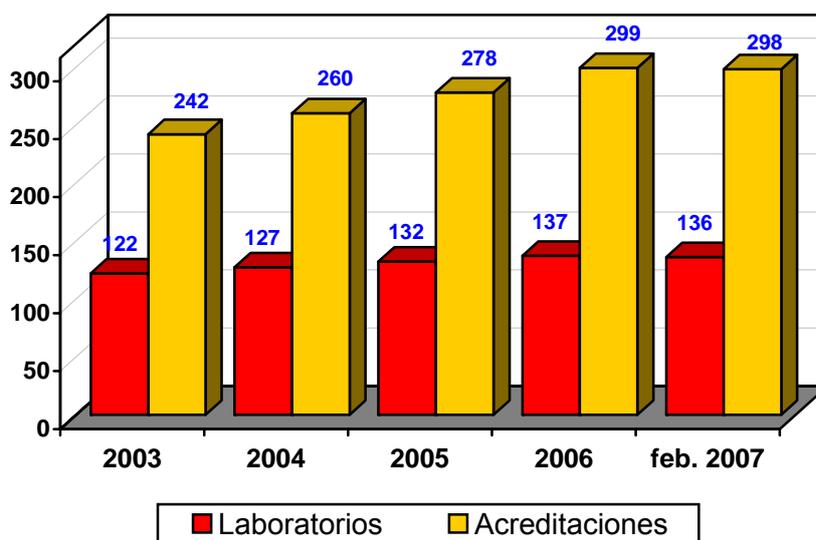


Fig.8 – Evolución de la acreditación de laboratorios de calibración

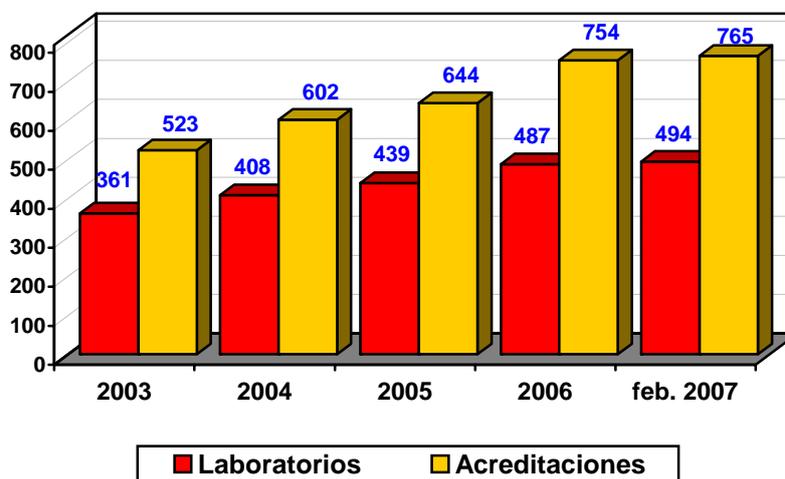


Fig.9 – Evolución de la acreditación de laboratorios de ensayo

<sup>19</sup> El número de laboratorios y el número de acreditaciones pueden no coincidir, ya que un mismo laboratorio puede tener

El impacto de estas acreditaciones por áreas de actividad o sectores, se refleja en las figuras 10 y 11 para calibraciones y ensayos, respectivamente.

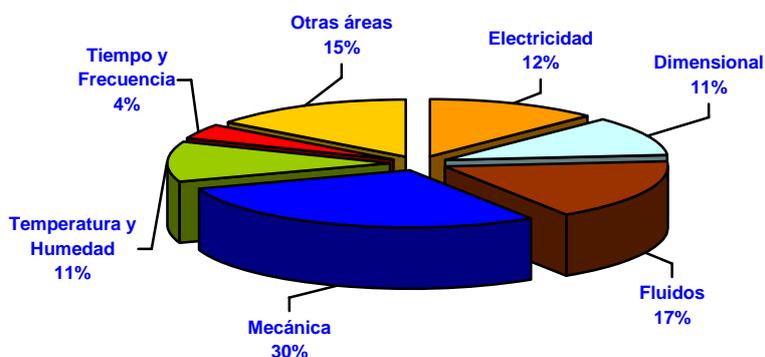


Fig.10 –Laboratorios de calibración: Acreditaciones por Sectores (Febrero 2007)

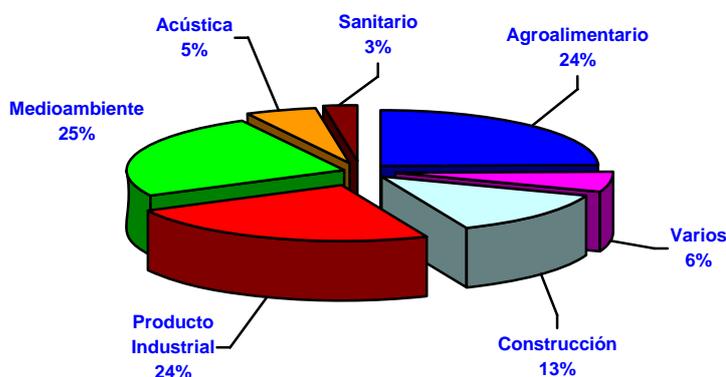


Fig.11 –Laboratorios de ensayo: Acreditaciones por Sectores (Febrero 2007)

De los datos aportados en las figuras 8 y 9, se puede estimar que el conjunto de los 630 laboratorios acreditados en la actualidad, ponen a disposición de la industria unos 200 000 certificados calibración o informe des ensayos por año. A este dato, aparentemente relevante, hay que añadirle el número de certificados

---

diferentes acreditaciones para distintos campos de actividad.

emitidos por laboratorios fuera del alcance de las acreditaciones, que según algunos estudios pueden ser del orden de 10 veces superior, por lo que se podría prever del orden de unos 2 000 000 de certificados/informes emitidos al año. Este resultado señala el impacto que tienen las medidas en la industria nacional y la diseminación de las unidades de medida materializadas por el CEM y los LLAA, así como el efecto cascada que produce tras cada certificado de calibración que emiten.

### **5.2.3 Normalización y certificación**

Las normas internacionales y su uso en la reglamentación técnica sobre productos, métodos de producción y servicios, juegan un papel vital sobre la consecución del desarrollo sostenible y apoyo al comercio, a través del fomento de la seguridad, calidad y compatibilidad.

Los beneficios derivados son significantes. La normalización contribuye no solo al comercio internacional sino también a la infraestructura básica en la que se soporta la sociedad, incluyendo la salud y el medioambiente, promocionando a su vez la sostenibilidad y buena práctica reguladora. Los mercados internacionales, o la adopción nacional o regional de normas internacionales, contribuyen a la eficiencia del funcionamiento de los mercados nacionales, mediante el incremento de la competitividad y la provisión de una fuente excelente de transferencia de tecnología. Desempeñan una función integral en la protección del consumidor y el medio ambiente.

En España, AENOR es una entidad dedicada al desarrollo de la normalización, aunque también realiza actividad certificadora, en todos los sectores industriales y de servicios. La normalización tiene como propósito contribuir a mejorar la calidad y la competitividad de las empresas, así como proteger el medio ambiente y otros aspectos de la calidad de vida. AENOR, en la actualidad, cuenta con alrededor de 1 000 miembros pertenecientes a la práctica totalidad del entramado industrial español.

Fue designada para llevar a cabo estas actividades por la Orden del Ministerio de Industria y Energía, de 26 de febrero de 1986, de acuerdo con el Real Decreto 1614/1985 y reconocida como organismo de normalización y para actuar como entidad de certificación por el Real Decreto 2200/1995, en desarrollo de la Ley 21/1992, de Industria.

Su presencia en los foros internacionales, europeos y americanos garantiza la participación de nuestro país en el desarrollo de la normalización.

La normalización es una herramienta fundamental para el desarrollo industrial y comercial de un país, ya que las normas sirven como base para mejorar la calidad en la gestión de las empresas, en el diseño y en la fabricación de productos, en la prestación de servicios, etc., aumentando la competitividad en los mercados nacionales e internacionales. Las normas establecen características técnicas que deben cuantificarse adecuadamente: es ahí donde juega un papel relevante la metrología, garantizando que los instrumentos de medida utilizados en los procesos industriales y de servicios son fiables, exactos en las tolerancias establecidas en las normas y están debidamente trazados a los patrones de medida correspondientes.

El Centro Español de Metrología trabaja activamente en aquellos Comités Técnicos de AENOR relacionados con la Metrología, en cualquiera de sus vertientes, en concreto, preside y lleva la secretaría del Comité Técnico de Normalización CTN 82 de Metrología y Calibración.

El campo de actividad en el que se enmarca la actividad del CTN 82 es el siguiente:

Normalización de:

-Las series de números normales, su coordinación en los distintos ámbitos de normalización así como el establecimiento de guías para la adopción de series de dimensiones nominales en la mecánica.

-Tolerancias, ajustes y símbolos en metrología dimensional.

-Magnitudes y unidades, su definición y simbología, en cualquier rama de la ciencia y la tecnología.

-Los sistemas e instrumentos de medición y calibración para todas las ramas de la ciencia y la tecnología, en sus aspectos de terminología, definiciones y reglas para el control, instalación y funcionamiento.

Asimismo, la estructura que le sirve de apoyo para desarrollar la actividad de normalización en el marco de su campo de actividad son 5 Subcomités: SC 1 Metrología general, SC 2 Metrología dimensional, SC 3 Metrología de fluidos, SC 4 Metrología eléctrica y SC 5 Metrología mecánica y térmica.

## **6 ESTRATEGIA A MEDIO Y LARGO PLAZO**

La actividad científica y tecnológica juega un papel central en la construcción de una sociedad basada en el conocimiento [24, 25]. La Ciencia y la Industria exigen permanentemente patrones y métodos de medida cada vez más precisos y que deben cubrir un rango más y más amplio de medidas, desde los valores de dimensiones microelectrónicas e incluso atómicas hasta los valores astrofísicos. Se requiere del metrólogo métodos de medida fiables, sencillos y precisos para medir desde las características de una molécula hasta las de una galaxia. De la misma forma el desarrollo constante e innovación industrial demandan más y más medidas exactas de parámetros, físicos, químicos y biológicos.

En este apartado se intenta abordar los diferentes puntos de interés nacional sobre los que debe estar centrado un plan estratégico de actuación en metrología a medio y largo plazo, que permita resolver algunos de los problemas actuales y

desarrollar y mantener nuestra metrología al más alto nivel y en consonancia con nuestro entorno europeo.

## **6.1 Políticas Públicas**

### **6.1.1 Plan nacional de I+D+i**

El Plan Nacional de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico (Ley 13/86 de 14 de abril de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica ( Ley de Ciencia)), define los programas y los instrumentos necesarios que deben permitir el progreso del conocimiento y el avance de la innovación y el desarrollo tecnológico, el crecimiento económico, el fomento del empleo y la mejora de las condiciones de trabajo y el desarrollo y fortalecimiento de la capacidad competitiva de la industria, a través del fomento de la investigación básica en los distintos campos del conocimiento y de la investigación científica y del desarrollo tecnológico en las empresas. En él se identifica un conjunto de mecanismos que permiten la participación de los distintos agentes ejecutores en las actividades financiadas al amparo del propio Plan Nacional.

El Plan vigente, para el cuatrienio 2004-2007 [26], ha demostrado ser un instrumento eficaz del Estado, para el impulso de la productividad y según los expertos en uno de los ejes sobre los que se articula la política económica española. Sin embargo, la rápida evolución de las tecnologías y las prioridades obligan a reajustar los planes a medio-largo plazo, a través de la revisión anual de las actuaciones por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT).

Uno de los objetivos prioritarios es que la metrología, como sector tecnológico básico y multidisciplinar, sea incluida como un campo específico en las futuras revisiones del Plan Nacional acordes con la realidad europea, para ello se realizarán las siguientes actuaciones:

- **Establecer** las prioridades en materia de metrología científica que respondan a las necesidades estratégicas nacionales.

- **Elaborar** programas específicos en metrología científica, en consonancia con las prioridades establecidas. Estos programas han de consolidar las capacidades metrológicas básicas, garantizar el régimen de propiedad intelectual y fomentar criterios de excelencia.
- **Impulsar** mecanismos de coordinación y participación de los diferentes Departamentos Ministeriales y Administraciones públicas, la Universidad, y la industria en un desarrollo consistente de la metrología.
- **Revisar y coordinar** las estructuras en la que se están formando los recursos humanos en metrología e invitar a las universidades que acerquen sus programas de formación a las necesidades metrológicas
- **Aprovechar** el conocimiento científico para potenciar e impulsar empresas nacionales que con ayuda de los INM desarrollen I+D+i en instrumentación y sistemas de medida.

#### 6.1.2 VII Programa Marco Europeo de I+D. Art. 169

Los centros públicos de investigación juegan cada vez un papel más importante en la mejora de la competitividad y esto se refleja en los programas nacionales de reforma de los Estados miembros en el marco de la Estrategia de Lisboa. Muchos países están apoyando polos de innovación como forma de favorecer la colaboración entre las empresas y la comunidad investigadora. En base al análisis transversal de los Programas Nacionales de Reforma, está claro que hay margen para el intercambio de buenas prácticas en apoyo a la transferencia de conocimiento que la Comisión puede apoyar a través de mecanismos variados como pueden ser la iniciativa PROINNO del Programa de Competitividad e Innovación y los mecanismos ERANET y OMCNET del Programa Marco de I+D. En materia metrológica España, a través del Centro Español de Metrología y sus Laboratorios Asociados esta haciendo un gran esfuerzo para participar en el próximo mecanismo ERANET-Plus y en el próximo 7º Programa Marco [27] en compañía de los INM europeos mas desarrollados (EURAMET/EMRP).

Con objeto de que este esfuerzo puntual pueda servir de lanzadera a los proyectos de I+D en metrología y tener una continuidad en el futuro, se precisa llevar a cabo determinadas acciones:

- **Apoyo** Institucional Interministerial a la presencia española en los programas prioritarios de I+D en metrología europeos.
- **Información** general de las posibilidades de participación en los programas I+D de la UE en materia metrológica a las Administraciones Públicas, los centros de investigación, universidades, y empresas.
- **Promover** la participación de la universidad y de las empresas con el papel proactivo del CEM y sus laboratorios Asociados
- **Compromiso** de participación activa y coordinada en EMRP con objeto de representar de forma efectiva los intereses nacionales y garantizar los retornos adecuados.
- **Creación** de grupos de investigación multidisciplinarios bajo la coordinación del CEM y Laboratorios Asociados
- **Identificación** de grupos de expertos evaluadores nacionales de propuestas de I+D en los diferentes objetivos prioritarios de metrología científica.

## **6.2 Estructura y organización de la metrología**

En España, se dispone de una estructura metrológica descentralizada que permite obtener mayores beneficios con costes distribuidos.

Como se ha indicado, la metrología científica la desarrolla el CEM y sus laboratorios asociados y la metrología legal es ejecutada por el CEM, las CCAA y los organismos competentes designados por estas últimas (Organismos notificados, organismos de control metrológico, organismos autorizados de verificación).

Así como la estructura de la metrología legal esta claramente fundamentada en regulaciones legales y en competencias asumidas por las CCAA en sus respectivos Estatutos, no lo está así la estructura de la Metrología Científica. Podemos decir que la actual red de Laboratorios Asociados del CEM se ha creado por necesidad de la sociedad en materias de patrones, partiendo de la existencia en determinados centros de investigación o instituciones que por tradición o necesidad sectorial han estado trabajando en determinados campos de la metrología.

Esta circunstancia implica que muchos de los laboratorios que realizan investigación científica en el campo de la metrología no tengan esta actividad como objetivo prioritario, lo que dificulta la asignación de personas, fondos e infraestructura para la investigación metrológica, que ha de compartir sus objetivos con los que son propios de la institución a la que pertenecen.

La puesta en marcha del Consejo Superior de Metrología (CSM) permite albergar esperanzas respecto a que se puedan coordinar las diferentes actuaciones nacionales en metrología de una forma racional y efectiva. La composición interministerial, autonómica y técnica de sus miembros garantiza una posibilidad de coordinación general.

La estructura metrológica existente ha venido funcionando resolviendo gran parte de las necesidades nacionales, buena prueba de ello es que nuestra metrología científica está a un gran nivel como demuestra la presencia de representantes españoles altamente cualificados en las Comisiones y Comités internacionales del BIPM, CIPM, EUROMET, etc. Basta consultar las bases de datos del BIPM ([www.bipm.org/kcdb](http://www.bipm.org/kcdb)) para comprobar que son centenares las entradas correspondientes a laboratorios españoles en las CMC, resultantes de la política internacional de Reconocimiento Mutuo de Certificados de Calibración entre los países pertenecientes al CIPM. Sorprende el excelente nivel alcanzado a pesar de la precariedad de medios disponibles.

No obstante, este nivel se ha logrado fundamentalmente por esfuerzos individuales en la mayoría de los casos. Es prioritario, que basándonos en la experiencia obtenida en los últimos 27 años (desde la promulgación de la Ley 3/1985, de Metrología) se de un impulso institucional a la organización de la metrología nacional, que permita afrontar el futuro de forma estructurada, programada y sostenible. Para ello se deben abordar una serie de acciones entre las que podemos resaltar:

- **Revisión estratégica** de los diferentes acuerdos entre instituciones
- **Papel proactivo** de las Comisiones y del Pleno del Consejo Superior de Metrología.
- **Perseguir la excelencia** en materia de patrones nacionales relevantes.
- **Respaldar** a la red de laboratorios asociados al CEM, aportándoles recursos humanos y materiales para el desarrollo específico de la metrología e instando a sus Instituciones a que se establezca entre sus objetivos el mantenimiento y desarrollo de los patrones nacionales de su responsabilidad.
- **Trabajar en mecanismos** y herramientas que mejoren la cooperación y coordinación entre:
  - Departamentos ministeriales relacionados con la metrología
  - CEM, CCAA y organismos metrológicos
  - Entidades nacionales y europeas
  - CEM y laboratorios asociados
  - Metrología, acreditación y normalización
  - CEM, laboratorios Asociados, universidad y centros de investigación
- **Potenciar** la actividad privada en los Controles Metrológicos del Estado, excepto en la inspección.

## 6.3 Formación y divulgación de la Metrología

### 6.3.1 Formación

El CEM y los LL.AA. juegan un papel clave en el objetivo de creación de recursos humanos altamente cualificados en metrología y en la producción de nuevo conocimiento relevante desde el punto de vista económico y social. No obstante, debido a sus recursos, su aportación a la sociedad es menor de lo necesario.

Salvo excepciones, en la universidad española no está contemplado disponer de programas en metrología como ocurre en otros países europeos, lo que genera un déficit de recursos humanos en esta materia.

De igual manera, a nivel de enseñanza media, la enseñanza de las unidades de medida es asombrosamente obsoleta. Muchos de los profesionales de la enseñanza o incluso libros de texto no aplican el Sistema Internacional de unidades (SI) declarado sistema oficial en España y en casi la totalidad de los países del mundo. Esto se ve refrendado en nuestro entorno diario con señales de tráfico con unidades mal escritas (KM, KMS), o en productos preenvasados con indicación del peso neto (Gr, grs, grms.) o tablas de horario (GMT) e incluso en artículos de los medios de comunicación.

Es hora que se planteen decisiones coordinadas que lleven a paliar esta laguna de desconocimiento metrológico, para ello se deberían abordar entre otras las siguientes acciones:

- **Colaborar** con el Ministerio de Educación y Ciencia y las CCAA para que se mejoren los textos de enseñanza en relación con los conceptos básicos de Metrología y unidades del SI.
- **Cooperar** con la universidad para el diseño de Masters en Metrología siguiendo las pautas establecidas en el acuerdo de Bolonia.
- **Publicar** ediciones divulgativas del SI de unidades y distribuir las en escuelas, institutos, y universidad con la colaboración de las CCAA y el Ministerio de Educación y Ciencia.

- **Diseñar y poner en marcha** proyectos formativos que acerquen la metrología a la sociedad.
- **Poner a disposición** de los centros de enseñanza, cursos y seminarios para formar a sus profesores en materias de metrología básica.
- **Diseñar** cursos no presenciales básicos de metrología de amplia difusión.
- **Continuar** con la organización del Congreso Nacional de Metrología.

### 6.3.2 Divulgación

Popularización de la Ciencia:

En las democracias basadas en el conocimiento, es fundamental el acceso generalizado a las fuentes de información científica y tecnológica para que sus ciudadanos, hombres y mujeres logren tomar conciencia y se apropien del conocimiento de la ciencia. Para conseguir este objetivo, es esencial contar con la presencia de periodistas científicos y de la comunidad de expertos nacionales de ciencia y tecnología.

La apropiación de la ciencia encuentra su verdadero significado en las democracias que cuentan con una alta participación de sus ciudadanos, ya que ésta es un prerrequisito para lograr una gobernabilidad con calidad y transparencia. Es así que se puede asegurar una destacada participación de los ciudadanos en los procesos de toma de decisión de nuestras instituciones democráticas

Así pues, la metrología como ciencia que estudia las medidas debería ser divulgada al menos al mismo nivel que otras ciencias que la utilizan para su desarrollo.

Se necesita planificar y abordar una política de información dirigida a empresarios, universidades, administración pública y ciudadanos en general.

En paralelo se pueden realizar diversas actividades como:

- **Participación** de la metrología en eventos como la Semana de la Ciencia, difusión de textos de divulgación (S.I., metrología concisa, ...)
- **Crear** aulas de metrología interactivas para niños y adolescentes similares a la del museo de la ciencia
- **Desarrollar** campañas de divulgación de la metrología y el empleo correcto de las unidades de medida.
- **Participación** en programas divulgativos de TV
- **Fomentar** foros abiertos de metrología
- **Dar mayor publicidad** a la exposición permanente de pesas y medidas ubicadas en las instalaciones del CEM y documentarla adecuadamente
- **Divulgar** la metrología a través de las web de los LLAA, CCAA, Ministerios y el CEM

#### **6.4 Investigación**

Los nuevos avances tecnológicos son fruto de un gran esfuerzo en investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), concentrado en plazos más cortos, por los continuos cambios en los mercados. Esto lleva a la búsqueda de una mayor productividad basada en capacidades humanas con amplios conocimientos y habilidades lo que lleva a que en los tiempos actuales, ninguna nación puede florecer sin invertir en recursos humanos para producir más y mejor.

Los proyectos de I+D+i son el mecanismo principal para la realización de actividades que impliquen el incremento de los conocimientos científicos y tecnológicos. Asimismo, mediante la realización de proyectos de I+D se estructura y articula la actividad de los grupos o equipos de investigación, tanto en el sector público como en el privado.

La escasa inversión en I+D+i en materia metroológica en nuestro país, sumada a limitaciones en la formación de recursos humanos y de información con respecto

a los urgentes requerimientos del desarrollo metrológico actual, ineficiencias en los instrumentos de financiamiento para promover innovación tecnológica en metrología, la débil cooperación entre la universidad, la empresa y los INM en la ejecución de proyectos de I+D+i más cercanos al mercado y al reducido número de alianzas estratégicas entre ellos para enfrentar innovaciones de mayor contenido tecnológico, llevan a España a una situación caracterizada por un desarrollo metrológico con alta dependencia de los esfuerzos personales de responsables de un número limitado de instituciones y INM.

Las políticas de desarrollo científico y tecnológico se han orientado, por lo general, a apoyar fuertemente la oferta científico-tecnológica de universidades y centros tecnológicos dejando fuera a la Metrología.

En el campo concreto de la defensa, la demanda tecnológica de las plataformas y sistemas de transporte, armamento, navegación, comunicaciones e inteligencia es altísima y el escenario es tremendamente competitivo. Es por esto, que la actividad de I+D+i en las áreas de defensa y seguridad es esencial, requiriéndose una alta capacidad petrológica para llevarla a cabo.

El nuevo panorama europeo requiere que en nuestro país se tomen medidas de apoyo directo a I+D en materia metrológica si no queremos tener en el futuro una dependencia externa que haría menos competitivas a nuestras industrias. Es por ello, que desde estas líneas se vuelve a reiterar la necesidad de que la “Metrología” como ciencia básica tenga su lugar concreto en los planes nacionales de I+D+i y en paralelo se lleven a cabo una serie de acciones:

- **Desarrollar** las estructuras y mecanismos adecuados para crear y mantener el talento en el CEM y laboratorios asociados.
- **Incentivar** a los investigadores y a los centros públicos de investigación a colaborar con los INM y la industria: promover una cultura emprendedora y una formación adecuada en metrología de los investigadores puede contribuir a la reducción de la barrera cultural que existe hoy en día en las universidades y otros centros públicos de

investigación. Uno de los métodos más eficaces de conseguir esto y transferir conocimiento es la movilidad multilateral de personal entre los centros públicos de investigación, los INM y la industria.

- **Desarrollar y potenciar** colaboraciones duraderas entre los INM, el mundo académico y la industria a través del intercambio de investigadores.
- **Innovar** mecanismos y programas que permitan a los INM, y organismos de investigación tener suficiente flexibilidad para reclutar de forma competitiva personal con experiencia tanto en el sector público como en el privado. El aumento de la movilidad entre los sectores tanto de los investigadores como de los gestores de los centros públicos facilitará la identificación de necesidades compartidas con la industria.
- **Habilitar** mecanismos para que investigadores en metrología del sector público puedan trabajar para la industria a tiempo parcial o incluso como consultores, facilitando con ello la creación de spin-offs y la creación de patentes de invenciones.
- **Concienciar e implicar** a las CCAA en invertir en actividades de investigación e innovación en materia metrológica en sus laboratorios de alta tecnología (parques tecnológicos). Los cluster redundan en un mejor conocimiento de las necesidades regionales, constituyen una concentración de talento especializado y facilitan la aplicación de los nuevos conocimientos. Existen claros ejemplos de esta apuesta en las distintas Comunidades Autónomas

## 6.5 Transferencia de conocimientos

El informe encargado por los Jefes de Estado y de Gobierno “*Creando una Europa Innovadora*” indicaba que la colaboración ciencia-universidad es una necesidad. El sistema abierto de innovación es una realidad, lo que significa que las empresas, universidades y centros de investigación tienen que trabajar estrechamente. Al mismo tiempo tienen que preservar sus aportaciones

diferenciadas y hay una necesidad de avanzar en el desmantelamiento de las barreras que todavía impiden esta colaboración. Por tanto, es necesario promover la creación de un marco dinámico de transferencia de conocimiento con el fin de eliminar estas barreras y hacer más atractiva la colaboración entre los centros públicos de investigación y la industria. Hacer partícipes de este conocimiento al tejido industrial y a toda la sociedad es particularmente importante en Europa donde los centros públicos contribuyen a un tercio de la actividad investigadora.

En nuestro país se requiere tomar medidas en materia de transferencia de conocimientos metroológicos con objeto de que nuestras industrias puedan beneficiarse de ello y tener mayor potencial para ser más competitivas e innovadoras y para ello se deben actuar en varios frentes:

- **Financiación** de I+D+i en Metrología teniendo en cuenta criterios de transferencia y difusión de tecnologías y la capacidad de las industrias en absorber las nuevas tecnologías y el *know-how* basados en la transferencia de conocimiento.

Esto significa que se requiere una adecuada combinación entre la producción de conocimientos, los mecanismos de transferencia y difusión tecnológica y las capacidades de individuos, empresas y organizaciones para hacer uso de este conocimiento.

- **Clarificar y homogeneizar** las reglas que gobiernan la propiedad intelectual de los resultados de I+D en metrología.

El personal de los INM y centros públicos de I+D debería facilitar sus invenciones y patentes a sus oficinas de transferencia de tecnología y negociar los términos y condiciones de la cesión de la propiedad intelectual. Esto permitiría a las instituciones negociar contratos sin tener que pedir el acuerdo previo del personal y facilitaría la creación y retención del talento en las organizaciones.

- **Establecer** en los INM un servicio profesional de transferencia de conocimientos en metrología que permita la explotación del

conocimiento generado (patentes, licencias, preparación de contratos, creación de *spin-offs*, etc).

Se debe dotar al personal implicado en dicho servicio de los conocimientos especializados en materia de transferencia de conocimientos para que su labor sea efectiva.

## **6.6 Inversiones y Financiación**

Para el mantenimiento de los patrones nacionales de medida y el desarrollo actual de la metrología se necesitan Laboratorios de Investigación Científica altamente dotados, con infraestructura, medios materiales y personal específicamente cualificado. La Metrología, como ciencia experimental necesita de costosas instalaciones y equipos instrumentales, por lo que es esencial que sea incluida en los programas de financiación de Infraestructura, así como en los de dotación de personal especializado.

En un contexto en que las tecnologías evolucionan rápidamente la rapidez de adopción de las nuevas tecnologías ejerce una influencia considerable en la innovación. En el campo de la metrología, las unidades de medida están en permanente proceso de redefinición y mejora para adaptarse a las nuevas exigencias que la ciencia y la industria plantean. Ello exige una investigación constante para adaptar y renovar los patrones existentes y los métodos de medida, manteniendo así el buen nivel internacional ya alcanzado.

En los últimos años se han incorporado al campo metrológico disciplinas y magnitudes nuevas, con nuevas exigencias de investigación, como son el desarrollo de unidades patrón en química, biología o en las ciencias de materiales. Las excelentes precisiones e incertidumbres logradas con el desarrollo de patrones de frecuencia basados en fuentes de átomos de cesio y rubidio, han abierto un nuevo cauce a la experimentación en el campo de la Física teórica. El BIPM recientemente ha recomendado a los Laboratorios Nacionales la investigación para el desarrollo de estas nuevas unidades y patrones, dando él

mismo ejemplo con la apertura de nuevos laboratorios para trabajar en estas áreas dentro de sus instalaciones.

El auge de la investigación y desarrollo de los llamados “cuerpos pequeños” o nanotecnología, con su multitud de aplicaciones en todos los campos de la ciencia y la tecnología, exige una nueva capacidad de medida en esas mínimas dimensiones con la incertidumbre necesaria, lo que inevitablemente supone desarrollar nuevos patrones, escalas y métodos de medida a corto y medio plazo.

El alto nivel metrológico existente en nuestro país refleja que el nivel de inversiones en equipamiento realizadas en el campo de la metrología puede considerarse adecuado a corto plazo. El principal problema radica que muchas de estas inversiones, excepto las del CEM, han sido realizadas por los LLAA tomando presupuestos de otros programas o tareas no relacionadas con la metrología, con lo que cada vez es más difícil soportar dicha situación.

Para el mantenimiento del nivel de conocimiento alcanzado en metrología se necesita actuar a corto y medio plazo para:

- **Financiación global** de la metrología a través de planes específicos y en la que intervengan todos los departamentos ministeriales y Administraciones públicas con intereses en metrología.
- **Establecer líneas** de inversiones claras para el desarrollo y mantenimiento de los patrones nacionales fundamentalmente en los LLAA.
- **Inversiones** en la captación y formación continuada de personal especializado en metrología
- **Fomentar y proporcionar** ayudas para becas en metrología en los NMI y la universidad

Para resumir este apartado, podríamos decir que dada la importancia económica que tiene la metrología en la sociedad, según se ha descrito en este documento,

la cantidad de recursos e inversiones a dedicar a la metrología debería estar en línea con la satisfacción de las necesidades de la sociedad.

## **6.7 Áreas prioritarias**

Con el fin de optimizar los recursos disponibles es necesario que se establezcan a nivel nacional las áreas prioritarias de I+D en metrología, teniendo en cuenta también las prioridades de la UE, y las marcadas por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM).

### **6.7.1 Desarrollo y mantenimiento de patrones nacionales**

Como filosofía de carácter general parece aconsejable mantener lo que ya tenemos, que mantiene objetivamente un nivel internacional muy apreciable (reconocido por las CMC obtenidas), y supone un stock de conocimiento acumulado durante muchos años.

La primera prioridad es, pues, mantener y desarrollar con criterios de excelencia aquellas áreas existentes en las unidades básicas y ser más selectivos con las magnitudes derivadas.

### **6.7.2 Prioridades EMRP**

En un segundo lugar, pero no menos importante que el primero, abordar las prioridades marcadas entre los Institutos Nacionales de metrología en EURAMET/EMRP ya que somos firmantes de sus acuerdos. Las áreas seleccionadas se han dividido en:

- Grandes retos en metrología multidisciplinar (salud, energía, medioambiente, nuevas tecnologías).
- Grandes retos en metrología fundamental.
- Metrología aplicada y disciplinas específicas.

### **6.7.2.1 Grandes retos en metrología multidisciplinaria**

La selección de campos como la Salud, la energía, el medioambiente y las nuevas tecnologías, refleja el carácter de metrología como un campo de investigación horizontal con la importancia particular para el 7º Programa Marco de la Unión Europea.

#### **SALUD:**

- Extensión del rango de procedimientos de medida de referencia y materiales de referencia primarios.
- Desarrollo de "el humano virtual", que se refiere a un modelo de la anatomía humana y a las funciones humanas como un patrón de referencia comprensivo para los fabricantes de instrumentación médica, I+D médica, modelando y formación.
- Diagnósticos cuantitativos en lugar de cualitativos incluyendo formación de imagen, microscopia moderna y procedimientos de medida multimodales trazables.
- Instrumentación de diagnóstico y terapéutica incluyendo el empleo de bioseñales eléctricas y magnéticas, óptica fluorescente, biomarcadores validados, resonancia magnética nuclear (NMR) y ultrasonido.

#### **ENERGIA:**

Desarrollar los patrones y procedimientos necesarios para coadyuvar a los objetivos energéticos del Programa Marco, particularmente:

- Los destinados a fortalecer los sistemas de energía convencionales.
- Los que centran su atención en el desarrollo de fuentes de energía nuevas y renovables (la tecnología de célula de hidrógeno, energía eólica, la biomasa, la fisión nuclear, los sistemas de energía solar, etc.).
- Los destinados a incrementar el rendimiento, la seguridad y la fiabilidad de las redes de energía actuales (redes de energía inteligentes).

- Los relativos a la mejora de la eficacia de la energía y su ahorro.

#### MEDIOAMBIENTE:

Las actividades a iniciar más urgentemente a través de la investigación incluyen validar y trazar las técnicas de medida, sensores y patrones de medida relacionadas con:

- Las variables físico-químicas de la atmósfera para la vigilancia del estado y evolución del clima.
- Medida de flujo y concentración de partículas sometidas a regulación, tales como el protocolo de Kyoto, las directivas europeas y otros convenios internacionales.
- Empleo eficiente y sostenible de recursos.
- Emisiones de dióxido de carbón encaminadas a su reducción a largo plazo.
- Evaluación y control de ruido ambiental.
- Evaluación y control de la contaminación lumínica.

#### NUEVAS TECNOLOGÍAS:

##### Nanotecnología

- Desarrollo y uso combinado de óptica y microscopia para el análisis de superficies nano-estructuras, nano-partículas y foto mascaradas para la fabricación de semiconductores.
- Sistemas nano-electrónicos, nano-magnéticos y nano-electro-mecánicos: investigación hacia medida de longitud sub-nm, perfiles espaciales de temperaturas de nano-circuitos, propiedades electro-magnéticas.

- Nano-materiales: investigación hacia la trazabilidad de medidas de toxicidad, forma, tamaño, distribución, caracterización química de nanopartículas como productos de combustión o nano-tubos.

### Seguridad

- Caracterización de fuentes de Terahertz (THz) y detectores para aplicaciones de seguridad, imágenes médicas, apantallamientos biológicos, toxinas en la atmósfera, espectrometría biológica y farmacéutica de sólidos/líquidos, fuentes de neutrón y detectores y métodos nuevos químicos para la detección de materiales peligrosos.

#### **6.7.2.2 Grandes retos en metrología fundamental**

- Cambios en las definiciones y en la realización de las unidades básicas del SI: kilogramo, ampere, mol, candela y kelvin según las directrices de los Comités Consultivos y del CIPM [28, 29, 30].
- Validación experimental de las constantes universales.
- Materialización de patrones utilizando los métodos actuales y aplicando nuevas tecnologías.
- Metrología multidisciplinar en I+D.

#### **6.7.2.3 Metrología aplicada y disciplinas específicas**

##### RADIACIONES IONIZANTES:

Los principales objetivos están concentrados en la salud y aplicaciones industriales [30].

- Mejora de procedimientos y mejor conocimiento de distribución de dosis multidimensional entregada tanto a pacientes como personal médico para radio-diagnóstico y radioterapia.

- Nuevos conceptos físicos y metrologicos para cuantificar la interacción de la radiación con la materia.
- Realización de nuevos dispositivos para la caracterización trazable de fuentes de radiación.

#### ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO:

- Desarrollo y mejora de capacidades de medición para la evaluación de la calidad y eficacia de energía eléctrica, y para la supervisión y protección de rejillas de potencia y aparatos.
- Establecimiento de rangos específicos trazados de radio frecuencia de absorción en dosímetros y medidas campo eléctrico en todas las frecuencias que están en el amplio empleo público.
- Extensión de métodos de medida y patrones en el rango de frecuencia de terahercio.
- Desarrollo de herramientas de medida ultrasensibles que permitan la caracterización de materiales con nano-estructuras, componentes, dispositivos y sistemas utilizables en el futuro en nanoelectrónica y tecnologías nanomagnéticas.
- Desarrollo de medidas eléctricas de referencia exactas, por ejemplo patrones eléctricos cuánticos transportables que respondan a las necesidades de tecnologías que surgen.

#### TIEMPO Y FRECUENCIA

- Desarrollo de nuevos relojes atómicos con exactitud sin precedentes.
- Establecimiento de nuevas modos para la transferencia del tiempo y la frecuencia.
- Relojes atómicos para usos específicos espaciales. El desarrollo de un reloj con exactitud de  $10^{-17}$  es un objetivo de largo plazo.

## FOTOMETRIA Y RADIOMETRIA

- Desarrollo de nuevas capacidades de la Radiometría óptica y la fonometría para la industria, calidad de vida y usos ambientales.
- Patrones basados en la óptica cuántica (1 fotón) para radiación óptica: emisores, detectores y transmisión de información por fibras ópticas.
- Medidas físicas de la percepción visual para el control de la calidad de producto.
- Desarrollo de nuevos patrones, instrumentos y métodos de medida más precisos.

## TERMOMETRIA

- Termometría fundamental: Investigación de nuevos puntos fijos, futura nueva definición del kelvin en términos de constante fundamental.
- Dispositivos de medida de temperatura: calibración rápida y económica de sensores, nuevos tipos de sensores de temperatura, sensores auto-verificables, imágenes térmicas y THz.
- Caracterización de propiedades térmicas de materiales.
- Medidas de humedad.

## MASA Y MAGNITUDES RELACIONADAS

- Investigación fundamental en mecánica aplicada a usos físicos, biotecnológicos y farmacológicos con contribución a las nuevas realizaciones y definiciones de las unidades de SI.
- Nuevas instalaciones para las nuevas necesidades industriales y sociales: la realización de nuevos dispositivos, sensores y patrones en condiciones dinámicas (para el espacio aéreo, la medicina, el transporte, etc.), patrones de presión para ultra alto vacío y nanomedidas en fuerza.
- Técnicas avanzadas para trazabilidad de unidades de flujo
- Desarrollos metroológicos específicos en acústica, ultrasonidos y vibraciones

## LONGITUD

- Desarrollo de técnicas de medida y sensores para la medida en el rango micrómetro a nanómetro.
- Mejora de la metrología dimensional para fabricación avanzada desde ambientes de producción controlados a severos.
- Extensión de capacidades de medida dimensionales hasta varios kilómetros.
- Desarrollo de nuevos métodos, instrumentos y modelados en la metrología de longitud que permitan progresar en la investigación de constantes fundamentales y en la física básica.

## METROLOGÍA QUÍMICA

- Establecimiento de una red primaria de referencia para la trazabilidad en química y electroquímica: clínica, alimentación, control medioambiente, etc.
- Investigación y desarrollo de métodos primarios y procedimientos de medida.
- Suministro de fiabilidad y comparabilidad a las nuevas tecnologías analíticas como medidas en línea y en línea en la industria, dispositivos “*LAB-on-a-chip*”, instrumentación remota, etc.

Además de las áreas identificadas como prioritarias, existen áreas y tecnologías tradicionales y fundamentales en las que se debe seguir trabajando como:

- Fluidodinámica
- Propulsión
- Robotica
- Electrónica
- Óptica
- Biología
- Factores humanos

así como nuevas áreas emergentes a las que se debe prestar atención en los planes de futuro:

- Biotecnología.
- Metrología para nuevos materiales.

## 7 CONCLUSIONES

### 7.1 De carácter previo

Es importante señalar que la actividad de conservación de los patrones nacionales, vértice de la pirámide de trazabilidad del país, es una actividad de investigación y desarrollo.

1. Los profanos tienden a asociar la idea de patrón con algo estático. Nada más lejos de la realidad, la evolución de la tecnología obliga a mejorar continuamente las técnicas de medida con el fin de ganar precisión y reducir incertidumbre.
2. La mayoría de los patrones (todos excepto el de masa), están referidos a magnitudes físicas fundamentales y materializados en instrumentos que garantizan la repetibilidad de los resultados de un experimento.
3. Los institutos nacionales de metrología dedican una parte importante de su trabajo a realizar comparaciones internacionales y están obligados a mantener sus incertidumbres en el nivel óptimo para el estado de la tecnología en el momento.
4. A pesar de la reducida dotación de la estructura de la metrología científica en España en relación con otros países de la UE, nuestro país mantiene unas capacidades de medida completamente homologables con los de nuestro entorno. Las debilidades proceden de la incapacidad de los recursos para atender nuevos campos emergentes y de la existencia de “equipos unipersonales” que ponen en riesgo la continuidad del conocimiento por incidencias que afecten a una sola persona.

## **7.2 De orden organizativo**

1. El Real Decreto 584/2006 ha activado el Consejo Superior de Metrología (inoperativo desde su creación en 1985) al tiempo que le ha dotado de una organización que se estima adecuada para cumplir sus objetivos, creando las Comisiones de Metrología Legal y de Laboratorios Asociados y otorgando al Centro Español de Metrología el rol de Secretaría Técnica del Consejo. Parece necesario fomentar el papel proactivo del Consejo Superior de Metrología que debe ser quien defina los objetivos e impulse las acciones del trabajo de los agentes operativos.
2. Es preciso fomentar y aprovechar las oportunidades científicas y financieras que ofrece la cooperación internacional y particularmente la intraeuropea. En este sentido la reciente constitución de EURAMET, el pasado catorce de enero, sustituyendo y dotando de personalidad jurídica a EUROMET puede resultar muy provechosa permitiendo una especialización por países que favorece a los de nuestra dimensión.
3. España, a través del Centro Español de Metrología, debería impulsar una mayor coordinación de los miembros de la Unión Europea para conseguir influir decisivamente en que las decisiones de los organismos internacionales favorezcan los objetivos de la Unión y de sus miembros.
4. La petición por organismos españoles de financiación de proyectos de I+D al 7º Programa Marco a través de EURAMET debe venir reforzada por el papel de nuestros representantes en la Comisión que exijan un nivel de retornos adecuada a nuestra contribución e impidan la concentración de las subvenciones en los países con mayor contribución a EURAMET.

5. El sistema de mantener patrones en laboratorios asociados al Centro Español de Metrología ha permitido aprovechar recursos materiales y de conocimiento. No obstante es necesario mejorar algunos aspectos:
  - Incrementar los niveles de selectividad y exigencia restringiendo la designación de laboratorios asociados a centros que sean complementarios con lo existente y que tengan un nivel de excelencia adecuado.
  - Mejorar la coordinación de los trabajos científicos evitando lagunas y duplicidades e implicando a las autoridades o ministerios responsables de los diferentes laboratorios. En particular se promoverá la colaboración con la Comisión Técnica Asesora de Metrología y Calibración de la Defensa.
  - El papel de la Comisión de Laboratorios Asociados es de gran importancia en este campo y el Centro Español de Metrología debe actuar como centro nodal del sistema de metrología científica ayudando a definir las prioridades de los centros asociados y coordinando las relaciones internacionales.

### **7.3 De orden económico**

1. Es necesario destacar la importancia, para la industria y la sociedad, de contar con una base de metrología científica adecuada a las necesidades nacionales. La metrología científica es vital para garantizar el sistema de calidad en la industria, los servicios y otros aspectos ligados al desarrollo humano como la sanidad y el medio ambiente. Resulta obvio, pero no menos importante, que es una necesidad para el comercio internacional donde solo un reconocimiento internacional de nuestras capacidades de medida permite realizar transacciones seguras.
2. La metrología científica es el soporte de la metrología legal que protege (como establece el Real Decreto 889/2006) “*el interés público, la salud y*

*seguridad pública, el orden público, el medio ambiente, los consumidores y usuarios, la recaudación tributaria, el cálculo de aranceles, cánones y sanciones administrativas, los peritajes judiciales y las garantías básicas para un comercio leal*'.

3. A medio plazo es necesario incrementar el gasto corriente (no tanto el de inversiones) en metrología científica. Es necesario contar con personal cualificado para el desarrollo de nuevos campos. La precariedad del personal impuesto por los sistemas de contratación supone un importante desperdicio de los recursos dedicados al esfuerzo de formación.
4. Es necesario definir las inversiones en metrología científica asociadas a proyectos de investigación y desarrollo mejor que a "aparatos". En ese sentido se juzga positiva la iniciativa puesta en marcha por el Centro Español de Metrología a lo largo de 2006. No obstante la contratación de personal para proyectos específicos tiene los inconvenientes de eventualidad y riesgo de pérdida de capital humano a los que hace referencia el punto anterior.
5. La metrología científica es el substrato necesario del I+D+i nacional. No es posible realizar investigación y desarrollo si los laboratorios no cuentan con un sistema de trazabilidad que garantice niveles de incertidumbre homologables.

#### **7.4 En cuanto a los desarrollos futuros**

1. La limitación de los recursos del sistema metrológico español obliga a ser muy selectivo en los objetivos. En ese sentido es preferible que se mantenga una política intensiva que garantice la calidad de los desarrollos que abordar otra, de tipo extensivo, que acometa un mayor número de campos con deterioro de la calidad. Esto no implica rechazar la posibilidad de empezar proyectos paulatinamente, seleccionados con criterio de

- oportunidad, y de acuerdo con las posibilidades financieras y de cooperación internacional que se brindan en la actualidad.
2. Una primera prioridad es la de mantener lo que tenemos en condiciones de excelencia. En concreto:
    - Mantener con un nivel de excelencia completamente homologable las magnitudes básicas (metro, kilo, kelvin, amperio, segundo y candela), así como las escalas internacionales de tiempo y temperatura.
    - Mantener con un alto nivel de capacidades reconocidas de medida la totalidad de las unidades derivadas de las que existe patrón nacional declarado. Ser selectivos con los nuevos desarrollos de magnitudes derivadas.
    - Atender, de acuerdo con las recomendaciones del CIPM al desarrollo de patrones o de materiales de referencia en áreas fuertemente expansivas como son la química, los materiales y la biología.
    - Desarrollar patrones de acuerdo con las necesidades de la industria emergente de nanotecnologías.
  3. Fomentar la colaboración de los laboratorios asociados y del Centro Español de Metrología con la universidad, tanto en aspectos ligados a la investigación como a la formación de especialistas.
  4. Trabajar en el desarrollo de patrones ligados a las áreas prioritarias definidas por la Unión Europea): energía, salud, medio ambiente, seguridad y bienestar social. Utilizar como subáreas prioritarias para España las del agua, energías renovables e industria alimentaria y vinícola.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] GOENAGA, Xavier: *La importancia de la investigación y de la transferencia de conocimiento en la Estrategia de Lisboa*. Dirección Espacio Europeo de la Investigación. Comisión Europea
- [2] *Evolving Needs for Metrology in Trade, Industry and Society and the Role of the BIPM*. CIPM 2003
- [3] FABER, Gerard J: *Legal Metrology. Benefits for trade and society*. METAS Symposium
- [4] BIRCH, John: *Economic and Social Benefits of Legal Metrology. Summary report and conclusions*. OIML boletín Abril 2004
- [5] BIRCH, John: *Benefit of legal metrology for the economy and society*. OIML publicaciones; (2003) [http://www.oiml.org/publications/birch\\_study.html](http://www.oiml.org/publications/birch_study.html)
- [6] CADARSO MONTALVO, Manuel: *La Metrología en España hasta la convención del Metro*. Comunicaciones Primera Asamblea Nacional de Metrología 1975.
- [7] GRANADOS, Carlos Enrique: *Introducción a la historia de la Metrología* ISBN 978-84-7484-195-4
- [8] Ley 3/1985, de 18 de marzo, de Metrología, BOE nº 67, 19-03-85.
- [9] Sistema Internacional de Unidades, SI. Edición en castellano. CEM (2007).
- [10] MARBÁN, Roció M; PELLICER, Julio A., (2003): *Metrología Legal*. C. OEA 2003. ISBN 99922-770-2-5
- [11] QUINN, T.J., (1994): *Metrology, its role in today's world*. Report BIPM-94/5
- [12] ROBLES CARBONELL, José Ángel: *La metrología legal y su impacto en la sociedad*. Curso Integral de Metrología legal, módulo G2. 2006. Centro Español de Metrología
- [13] Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes, Paris, 14 October 1999, Technical Supplement revised in October 2003, CIPM.
- [14] ILAC-MRA. (<http://www.ilac.org/ilacarrangement.html>)

- [15] WTO/TBT Obstáculos Técnicos al Comercio: consultar documentos actualizados en [http:// www.wto.org/spanish/tratop\\_s/tbt\\_s/tbt\\_s.htm](http://www.wto.org/spanish/tratop_s/tbt_s/tbt_s.htm)
- [16] Metrología Abreviada, CEM, 1ª ed., 2005.
- [17] PRIETO ESTEBAN, Emilio: *Organismos e infraestructura en Metrología Científica y Aplicada*. Curso Integral de Metrología legal, módulo G1. 2005.. Centro Español de Metrología.
- [18] PRIETO ESTEBAN, Emilio: *Introducción a la Metrología Científica y Aplicada*. Curso Integral de Metrología legal, módulo G4. 2006.. Centro Español de Metrología.
- [19] ERARD, Luc et al: *Final report to the EUROPEAN COMMUNITY AND THE EUROPEAN FREE TRADE ASSOCIATION on: A Panorama over the European Union Metrology Infrastructure*.
- [20] iMERA: Sixth Framework Programme Co-ordination of National and Regional Activities (ERA-NET scheme)
- [21] European Metrology Research Programme Outline 2007
- [22] Real Decreto 2200/95 por el que se aprueba el Reglamento para la Infraestructura de la Calidad y Seguridad Industrial.
- [23] Evolución de la Acreditación en cifras. Febrero 2007. ENAC.
- [24] SEMERJIAN, Hratch G: NIST - *Promoting innovation, competitiveness and facilitating trade*.
- [25] NIST Special Publication 1048. *An assessment of the United States National Measurement System: addressing measurement barriers to accelerate innovation*.
- [26] Actividades en Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica. Programa de Trabajo 2007. Aprobado por la Comisión Permanente de la CICYT en su reunión del 19 de diciembre de 2006
- [27] VII Programa Marco. Art. 169.  
(Ver: <http://www.mec.es/ciencia/>)
- [28] P. BECKER, P. De BIÈVRE, K. FUJII, M. GLAESER, B. INGLIS, H. LUEBBIG and G. MANA: *Considerations on future redefinitions of the kilogram, the mole and of other units*.

- [29] PETLEY, BW: *The atomic units, the kilogram and the other proposed changes to the SI.*
- [30] PENDRILL, L.R.: *Metrology: time for a new look at the physics of traceable measurement?*
- [31] LOS ARCOS, José M., BROSED, A. y FERNÁNDEZ, F.: *Metrología de radiaciones ionizantes: bases físicas para la protección radiológica en España.* Radioprotección, nº 40, vol. XI (2004).

## ACRÓNIMOS

<b>AENOR</b> – Asociación Española de Normalización y Certificación.
<b>APEC</b> - <i>Asia-Pacific Economic Cooperation</i> .
<b>APLAC</b> - <i>Asia-Pacific Laboratory Accreditation Cooperation</i> ,
<b>APLMF</b> - <i>Asia-Pacific Legal Metrology Forum</i>
<b>APMP</b> - <i>Asia-Pacific Metrology Programme</i>
<b>ARM</b> - Acuerdo de Reconocimiento Mutuo CIPM
<b>KCDB</b> - Base de datos de comparaciones clave del BIPM
<b>BIPM</b> , <i>Bureau International des Poids et Mesures</i>
<b>BNM</b> , <i>Bureau National de Métrologie</i> - Instituto Nacional de Metrología de Francia.
<b>CCAUV</b> , <i>Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibrations</i> - Comité Consultivo del BIPM sobre Acústica, Ultrasonido y Vibraciones
<b>CCEM</b> , <i>Consultative Committee for Electricity and Magnetism</i> - Comité Consultivo del BIPM sobre Electricidad y Magnetismo
<b>CCL</b> , <i>Consultative Committee for Length</i> - Comité Consultivo del BIPM sobre Longitud
<b>CCM</b> , <i>Consultative Committee for Mass and related quantities</i> - Comité Consultivo del BIPM sobre Masa y magnitudes relacionadas
<b>CCPR</b> , <i>Consultative Committee for Photometry and Radiometry</i> - Comité Consultivo del BIPM sobre Fotometría y Radiometría
<b>CCQM</b> , <i>Consultative Committee for Amount of Substance, Metrology in chemistry</i> - Comité Consultivo del BIPM sobre la Cantidad de Sustancia y Metrología en Química
<b>CCRI</b> <i>Consultative Committee for Ionising Radiation</i> - Comité Consultivo del BIPM sobre Radiaciones Ionizantes
<b>CCT</b> <i>Consultative Committee for Thermometry</i> - Comité Consultivo del BIPM sobre Termometría
<b>CCTF</b> <i>Consultative Committee for Time and Frequency</i> - Comité Consultivo del BIPM sobre Tiempo y Frecuencia
<b>CCU</b> <i>Consultative Committee for Units</i> - Comité Consultivo del BIPM sobre Unidades
<b>CEM</b> Centro Español de Metrología - Instituto Nacional de Metrología de España.
<b>CEN</b> <i>Comité Européene de Normalisation</i> - Comité Europeo de Normalización.
<b>CGPM</b> , <i>Conférence Générale des Poids et Mesures</i> - Conferencia General de Pesas y Medidas.
<b>CICYT</b> – Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología.
<b>CIPM MRA</b> - Acuerdo de Reconocimiento Mutuo CIPM.
<b>CIPM</b> , <i>Comité Internationale des Poids et Mesures</i> - Comité Internacional de Pesas y Medidas.
<b>CMC</b> - Capacidades de Medida y Calibración
<b>COOMET</b> , <i>Euro-Asian cooperation of national metrological institutions</i> - Cooperación de las instituciones metroológicas nacionales euro-asiáticas
<b>CRM</b> <i>Certified Reference Material</i> . Material de Referencia Certificado.
<b>CTAMCD</b> Comisión Técnica Asesora de Metrología y Calibración de la Defensa
<b>DTI</b> - Department of Trade & Industry. Ministerio de Industria y Comercio.
<b>EA</b> <i>European Co-operation for Accreditation</i>
<b>ENAC</b> – Entidad Nacional de Acreditación.
<b>EOTC</b> , <i>European Organisation for Conformity Assessment</i> - Organización Europea para Evaluación de la Conformidad.
<b>EURACHEM</b> -. red de organizaciones de países europeos más la Comisión Europea, que tiene por objetivo establecer un sistema de trazabilidad internacional para las medidas química
<b>EURAMET</b> – Entidad Legal de la Metrología Europea para la Cooperación entre los Institutos Nacionales de Metrología Europeos y la Comisión Europea.
<b>EUROLAB</b> - Cooperación en el ámbito voluntario entre los laboratorios de calibración y de ensayo europeos.

<b>EUROMET</b> - Cooperación entre los institutos nacionales de metrología europeos y la Comisión Europea.
<b>GUM</b> , <i>Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement</i> - Guía para la expresión de la Incertidumbre de Medida.
<b>IEC</b> <i>International Electrotechnical Commission</i> - Comisión Electrotécnica Internacional.
<b>IFA</b> – Instituto de Física Aplicada.
<b>ILAC</b> <i>International Laboratory Accreditation Cooperation</i> .
<b>iMERA</b> - <i>Implementing Metrology in the European Research Area</i> . Implantación de la Metrología en el Área de la Investigación Europea.
<b>INTA</b> - Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
<b>IRMM</b> <i>Institute for Reference Materials and Measurements</i> - Instituto para Mediciones y Materiales de Referencia
<b>ISCIII</b> – Instituto de Salud Carlos III.
<b>ISO</b> <i>International Organisation for Standardisation</i> - Organización Internacional de Normalización.
<b>IUPAP</b> <i>The International Union of Pure and Applied Physicists</i> - Unión Internacional de Física Pura y Aplicada.
<b>JCRB</b> <i>Joint Committee of Regional Metrology Organizations and the BIPM</i> - Comité Conjunto de las Organizaciones Regionales de Metrología y el BIPM.
<b>KCDB</b> - <b>BIPM Key comparison database</b> - Base de datos de comparaciones clave del BIPM
<b>LCOE</b> – Laboratorio Central Oficial de Electrotécnia.
<b>LMRI-CIEMAT</b> – Laboratorio de Metología de Radiaciones Ionizantes, del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.
<b>MID</b> , <i>The Measuring Instruments Directive</i> - Directiva sobre Instrumentos de Medida.
<b>MR - Material de referencia</b>
<b>MRA</b> – <i>Mutual Recognition Arrangement</i> . Acuerdo de Reconocimiento Mutuo (ARM).
<b>MRC (CRM en inglés)</b> Material de Referencia Certificado.
<b>NIST</b> - National Institute of Standards and Technology. Instituto Nacional de Tecnología y Patrones EE.UU.
<b>NMI</b> - Abreviatura inglesa de National Measurement Institute, utilizada habitualmente en la literatura para designar en general a un Instituto Nacional de Metrología.
<b>NPL</b> - <i>National Physical Laboratory</i> , Laboratorio Nacional de Física de Reino Unido
<b>NRC</b> – National Research Council Canada . Consejo Nacional de Investigación de Canadá
<b>OMR</b> – Organización Metrológica Regional
<b>ROA</b> - Real Instituto y Observatorio de la Armada.
<b>SI</b> – Sistema Internacional de Unidades.
<b>TPYCEA</b> – Taller de Precisión y Centro Electrotécnico de Artillería.

## Sitios Web

Información sobre:	Fuente	Contacto
Convención del Metro	<b>BIPM</b> Oficina Internacional de Pesas y Medidas	<a href="http://www.bipm.org">www.bipm.org</a>
Organizaciones metroológicas regionales (RMO)	<b>BIPM</b>	<a href="http://www.bipm.org">www.bipm.org</a> . Entrar en "useful links"
Base de datos de comparaciones clave (KCDB)	Revista "Metrología" y base de datos del <b>BIPM (KCDB)</b>	<a href="http://www.bipm.org/kcdb">www.bipm.org/kcdb</a>
EUROMET, Organización metroológica regional europea	<b>EUROMET</b>	<a href="http://www.euromet.org">www.euromet.org</a>
Organización Metroológica Regional Interamericana	<b>SIM</b> Sistema Interamericano de Metrología	<a href="http://www.sim-metrologia.org.br">www.sim-metrologia.org.br</a>
Organización Metroológica de la región Asia-Pacífico	<b>APMP</b> Asian Pacific Metrology Programme	<a href="http://www.apmpweb.org">www.apmpweb.org</a>
Organización Metroológica Sudafricana	<b>SADCMET</b>	<a href="http://www.sadcmet.org">www.sadcmet.org</a>
Laboratorios europeos de Calibración, Ensayo y Análisis	<b>EUROLAB</b>	<a href="http://www.eurolab.org">www.eurolab.org</a>
Confederación Internacional sobre Medición	<b>IMEKO</b>	<a href="http://www.imeko.org">www.imeko.org</a>
Química analítica en Europa	<b>EURACHEM</b>	<a href="http://www.eurachem.ul.pt">www.eurachem.ul.pt</a>
Materiales de referencia para análisis químicos	<b>IRMM</b> Base da datos COMAR	<a href="http://www.irmm.jcr.be">www.irmm.jcr.be</a>
Acreditación en Europa Laboratorios Acreditados	<b>EA</b> European cooperation in Accreditation	<a href="http://www.european-accreditation.org">www.european-accreditation.org</a>
Normas	<b>ISO</b> Organización Internacional de Normalización	<a href="http://www.iso.ch">www.iso.ch</a>
Organismos europeos de normalización	<b>CEN</b> Comité Europeo de Normalización	<a href="http://www.cenorm.be">www.cenorm.be</a>
Centro Español de Metrología	<b>CEM</b>	<a href="http://www.cem.es">www.cem.es</a>
Real Observatorio de la Armada	<b>ROA</b>	<a href="http://www.roa.es">www.roa.es</a>
Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas	<b>CIEMAT</b>	<a href="http://www.ciemat.es">www.ciemat.es</a>
Instituto de Física Aplicada	<b>IFA-CSIC</b>	<a href="http://www.metrologia.csic.es/">www.metrologia.csic.es/</a>
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial	<b>INTA</b>	<a href="http://www.inta.es">www.inta.es</a>
Laboratorio Central Oficial de Electrotecnia	<b>LCOE</b>	<a href="http://www.ffii.nova.es/f2i2/lcoe/lcoe_portada.asp">www.ffii.nova.es/f2i2/lcoe/lcoe_portada.asp</a>
Entidad Nacional de Acreditación	<b>ENAC</b>	<a href="http://www.enac.es">www.enac.es</a>
Asociación Española de Normalización y Certificación	<b>AENOR</b>	<a href="http://www.aenor.es">www.aenor.es</a>
Instituto de Salud Carlos III	<b>ISCI</b>	<a href="http://www.isciii.es">http://www.isciii.es</a>
Centros Tecnológicos de Defensa	<b>Ministerio de Defensa</b>	<a href="http://www.mde.es/dgam/centrostecnologicos.htm">http://www.mde.es/dgam/centrostecnologicos.htm</a>
Sistema de Observación y Prospectiva Tecnológica de la Defensa	<b>Ministerio de Defensa</b>	<a href="http://www.mde.es/dgam/observatecnologicos.htm">http://www.mde.es/dgam/observatecnologicos.htm</a>