

¿Qué enseñar de Metrología al químico? Una propuesta de contenidos

María de los Angeles Olvera-Treviño*

ABSTRACT (What to teach about Metrology to the chemist? A contents proposal)

Metrology is the science of measurement and its applications; one of his concerns is to obtain reliable measurements through an international framework. Currently, metrology demands the formation of qualified professionals to accomplish the international scheme. This scheme contemplates the ability to develop new measurement methods, to demonstrate the technical competence of assay laboratories, to calibrate instruments, to evaluate personnel performance, to evaluate assay methods, to organize aptitude essays and specially to design, preparation and certification of reference materials using primary methods. This work proposes activity areas related with metrology that the chemist could cope as well as the associated competences with every activity. In this manner, it is proposed a set of knowledge, skills and attitudes related among them that could facilitate the accomplishment of mentioned activity.

KEYWORDS: Metrology, science of measurement, Metrology international scheme, competences of chemist

La Metrología es la ciencia de las mediciones y sus aplicaciones; una de sus preocupaciones es obtener medidas confiables a través de un esquema internacional. Actualmente la Metrología exige la formación de profesionales capacitados para cumplir con este esquema, el cual contempla, entre otras cosas: desarrollar nuevos métodos de medición, demostrar la competencia técnica de laboratorios de ensayo; calibrar y/o verificar instrumentos; evaluar el desempeño del personal; validar métodos de ensayo, organizar ensayos de aptitud y, sobre todo, diseñar, preparar y certificar materiales de referencia utilizando métodos primarios. En este trabajo se proponen áreas de actividad relacionadas con la Metrología que el profesional de la química puede desarrollar, así como ejemplos de competencias asociadas a actividades. De igual manera, se menciona un conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes relacionados entre sí que pueden facilitar el cumplimiento de dicha actividad.

Introducción (¿qué se mide y para qué?)

Millones de medidas son hechas cada año por el químico. Los resultados de medir se usan con diferentes intenciones, todas de gran consecuencia económica y de importancia social. En lo social, los resultados de medir nos ayudan desde establecer medidas de seguridad para la salud, hasta proteger a los consumidores contra fraudes y falsificaciones. En la industria, las medidas además de informarnos de la situación de la materia

prima, de los productos intermedios y finales de un proceso de producción, nos ayudan a mantener la calidad. El comercio a menudo involucra grandes cantidades de dinero, un pequeño error en la medición puede ser el causante de una gran pérdida. En la economía del día a día también son importantes las mediciones, por ejemplo; los alimentos son pesados para su venta, y su costo depende de un resultado de medición. Es evidente que los datos de una medición deben representar la situación real y ser entendidos de la misma manera por todos los involucrados (Quinn, 1993).

Medir es un proceso relativo, que consiste en comparar un objeto —el que se requiere medir—, con otro de referencia —un patrón—, con la finalidad de estimar sus diferencias y semejanzas con exactitud y aceptación. Para que podamos confiar en una medida se requiere que sea aceptada a nivel internacional; esto se logra mediante la existencia de convenciones, consensos, comparaciones entre laboratorios, el uso de referencias justas, igualitarias y no arbitrarias. Además, las medidas deben ser hechas por laboratorios que demuestren continuamente su competencia técnica. El campo de competencia que se preocupa de este ámbito del conocimiento es la Metrología. La tercera edición del *Vocabulario Internacional de Metrología* (VIM) (BIPM, 2008) la define como la ciencia de la medida y su aplicación en cualquier campo y nivel de incertidumbre.

Antes de hablar de qué enseñar de Metrología al químico es conveniente detenerse a reflexionar sobre la naturaleza práctica de esta disciplina, cómo surge, sus intereses y algunos problemas que enfrenta. Por un lado, nos permite analizar y evaluar el perfil de los profesionales que la disciplina requiere; por otro, nos puede dar ideas sobre el tipo de conocimientos, habilidades y actitudes que debemos desarrollar en los estudiantes de las carreras de Química.

* Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Ciudad Universitaria 3000, Ciudad Universitaria, 04510 México, D.F.

Fecha de recepción: 26 de octubre de 2009.

Fecha de aceptación: 20 de mayo de 2010.

Aspecto histórico

Probablemente lo primero que midió el hombre fue el tiempo, y cuando tuvo que intercambiar objetos se vio en la necesidad de medir otras magnitudes, como peso y longitud. En un principio existieron muchos conflictos entre los grupos de intercambio por la existencia de diferentes patrones y no fue sino hasta la culminación de la Revolución Francesa en el siglo XVIII cuando se logró unificar criterios. En 1789 se estableció la Comisión Metroológica; entre sus miembros destacaba la presencia de Coulomb, Laplace y Lavoisier (Meinrath y Kalin, 2005). En 1875 se incorporan 17 naciones y se firmó un tratado, la Convención del Metro; ésta creó una institución con alta autoridad jerárquica en la ciudad de Sévres en París, la Oficina Internacional de Pesas y Medidas —Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)— (BIPM, 2010).

En la actualidad el BIPM está formado por 54 países miembros, entre los cuales se encuentran las grandes potencias económicas y países como México, Chile y Brasil; además, incorpora 28 países asociados, mismos que no participan en las actividades de la Convención del Metro. La Oficina de Pesas y Medidas es financiada por los países miembros, dirigida por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) y supervisada por el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM). La CGPM está formada por delegados gubernamentales de los países miembros y se reúnen en París cada cuatro años. El CIPM se compone de 18 personas de los estados miembros y se reúnen anualmente, recibe el informe del BIPM y lo entrega a la CGPM. En conjunto la CGPM, el CIPM y el BIPM tienen como tarea principal asegurar la propagación y la mejora del Sistema Internacional de Unidades (SI) y promover la uniformidad de unidades de medida en todo el mundo.

En la actualidad la Metrología está preocupada por modificar patrones y definir con mayor claridad, exactitud y precisión las referencias de masa, mol, Ampere y Kelvin. Los cambios están dirigidos hacia el remplazo de los prototipos por magnitudes definidas con fenómenos cuánticos o valores de constantes fundamentales invariantes de la naturaleza. El patrón de masa es una de las más grandes preocupaciones, existen varias propuestas por diferentes grupos de investigación, para definirlo usan la constante de Planck y de masa atómica (Becker, 2007).

La Metrología se auxilia de conocimiento multidisciplinario; con las Matemáticas interpreta resultados, con la Biología, la Química y la Física define principios, métodos y procedimientos, con la Informática agiliza el tratamiento de datos, y el Derecho le ayuda a resolver problemas legales. Sin embargo, recordemos que la ciencia se ha construido mediante el análisis de diversas mediciones, las que dieron la pauta para generar leyes, modelos y teorías. A medida que la tecnología avanza, se perfeccionan los instrumentos y los métodos de medida, son observados resultados nuevos, mejor controlados y más reproducibles. Estas nuevas características han llevado a nuevas explicaciones e interpretaciones, los modelos han mejorado y los fenómenos naturales se entienden cada vez

más. Una medida controlada favorece en todos los ámbitos del conocimiento, desde la decisión acertada en la compra de una golosina, un medicamento o un cosmético por alguien que no es experto, hasta en la interpretación de un fenómeno observado por un investigador. El conocimiento más cercano al fenómeno natural nos ayuda a tomar decisiones adecuadas para lograr un desarrollo sostenible. La responsabilidad de la Metrología es grande y por ello ha creado un esquema de trabajo internacional de confianza mutua sin conflicto de intereses bajo los auspicios del BIPM.

Esquema internacional de trabajo metroológico

El esquema internacional vigente se logra mediante tratados, convenciones, acuerdos, comparaciones y demostraciones continuas de competencia. El esquema se inicia con el BIPM y es soportado por los institutos metroológicos, los laboratorios de calibración y de ensayo, los organismos de normalización y las organizaciones regionales de acreditación, vigilancia y cooperación.

Los institutos metroológicos son los laboratorios nacionales de referencia; son responsables de establecer y conservar patrones y materiales de referencia certificados nacionales, y son considerados laboratorios primarios. A través del acuerdo de reconocimiento mutuo (MRA), estos laboratorios llevan comparaciones internacionales para establecer el grado de equivalencia entre los patrones de cada nación. Podemos mencionar algunos: el Centro Español de Metrología (CEM), el Centro Nacional de Metrología (CENAM) (México), el National Institute of Standards and Technology (NIST) (EUA) y el Laboratoire National de Métrologie et D'essais (LNE) (Francia).

Para que sean reconocidos en el esquema, los laboratorios de calibración y de ensayo que respaldan toda la actividad socioeconómica de cada país deben ser acreditados. La acreditación es un proceso por el cual una entidad reconoce que el laboratorio tiene una gestión de calidad sólida, es técnicamente competente y es capaz de generar resultados técnicamente válidos.

Los organismos de normalización elaboran normas; pueden ser internacionales o nacionales. Entre los primeros podemos mencionar: la International Organization for Standardization (ISO), la International Electrotechnical Commission (IEC), mientras que entre los segundos están: la Association Française de Normalisation (AFNOR), el Deutsches Institut für Normung (DIN) (Alemania), el Japanese Industrial Standards (Japón) y el Instituto Mexicano de Normalización y Certificación (IMNC) (México).

Las instituciones que acreditan laboratorios son los órganos que garantizan que dichos laboratorios sean confiables y técnicamente competentes. Entre las unidades de acreditación podemos mencionar a: la National Association of Testing Authorities (NATA) (Australia), el German Accreditation System (DAR) (Alemania), la Entidad Mexicana de Acreditación, AC (EMA) (México), y el National Cooperation for Laboratory Accreditation (NACLA) (EUA).

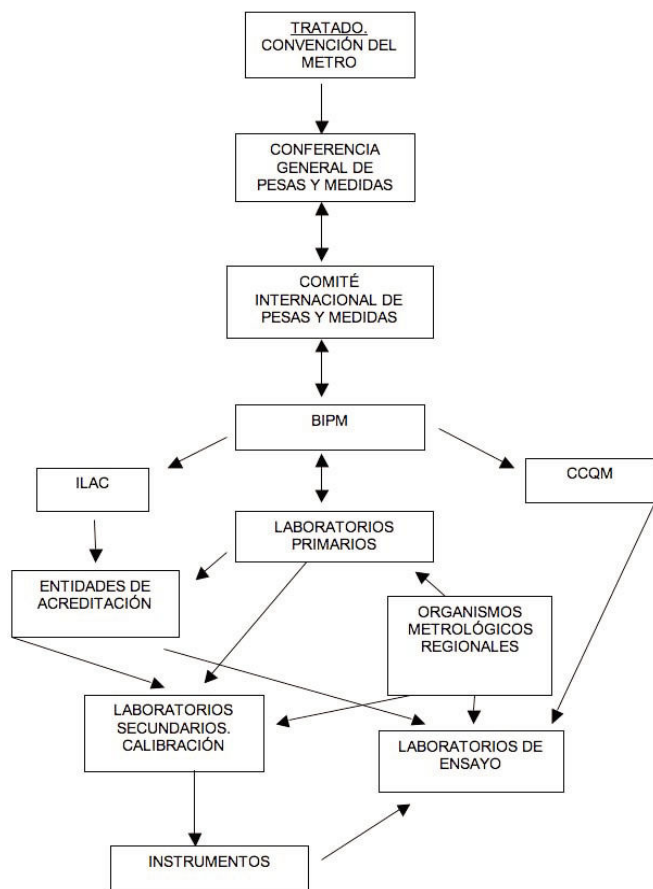


Figura 1. Esquema Internacional de Trabajo Metrológico.

Una de las principales instituciones de vigilancia y cooperación tiene una gran participación a nivel mundial: el International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC). ILAC está formada por varias entidades de acreditación de laboratorios que operan a través del mundo; entre sus funciones se encuentra desarrollar y armonizar las prácticas de acreditación de los laboratorios y de organismos de inspección, así como desarrollar actividades de cooperación internacional para facilitar el comercio. Esto último lo consigue a través de promover que los cuerpos acreditadores trabajen de forma armónica. ILAC se inicia en 1977, fue considerada como institución de cooperación en 1996 y en el 2005 es reconocida por el BIPM (BIPM, ILAC, 2005). En la figura 1 se simplifica el esquema metrológico.

Para asegurar la uniformidad de los tratados internacionales, se han formado organizaciones internacionales de Metrología por región; entre ellas se encuentran: la Comunidad de Cooperación en Trazabilidad en las Medidas de la región de Sudáfrica, el Sistema Interamericano de Metrología formado por Noramet, que incluye a Canadá, Estados Unidos y México; el resto de los países de América se encuentran distribuidos en las asociaciones Camet, Andimet, Suramet y Carimet.

Laboratorios confiables y comparables

Las entidades de acreditación reconocen que los laboratorios

aplican un sistema de gestión de la calidad, son técnicamente competentes y son capaces de generar resultados técnicamente válidos a través del cumplimiento de los requisitos que solicita el documento: ISO/IEC-17025 (ISO, 2008), emitido por un organismo de normalización internacional, la International Organization for Standardization (ISO). Cumpliendo con este documento, los resultados de los ensayos y calibraciones son mejor aceptados entre países y son reconocidos por el MRA.

Con base en los requisitos que se solicitan para la acreditación de laboratorios y los acuerdos de tratados internacionales, este trabajo agrupa los factores técnicos que son considerados como esenciales para demostrar la confiabilidad del trabajo experimental: factores humanos, instalaciones y controles ambientales, método de medida, instrumentos y equipo, trazabilidad, muestreo, manejo de los elementos de la medida.

Factores humanos

Una mala capacitación, el cansancio, un criterio diferente en la lectura de un instrumento o no respetar una determinada secuencia lógica de operaciones manuales, pueden ser los factores que afecten al resultado de medir y nos lleven a cometer un error. Durante el proceso de medir se prefiere eliminar lo más posible esos errores o corregirlos. Existen algunas fluctuaciones en el resultado de medir que no podemos corregir o eliminar y que ni siquiera podemos identificarlas claramente. Estas fluctuaciones no controladas se estudian a través de la estadística; por ejemplo, un estudio de precisión intermedia nos ayuda a evaluar esas fluctuaciones no controladas (ISO, OIML, 2005).

Instalaciones y controles ambientales

En el transcurso de un experimento, muchas condiciones ambientales pueden cambiar: la temperatura, la humedad, la iluminación, las vibraciones, el control del polvo, la limpieza, las interferencias electromagnéticas, la presión atmosférica, etcétera. Las magnitudes de influencia afectan a los procesos de medición tanto en las bases científicas como en los instrumentos que se usan. Por ejemplo, las vibraciones de una mesa pueden alterar una pesada de precisión o el material volumétrico normalmente es usado en las mismas condiciones ambientales a las que es calibrado. Estas alteraciones deben ser eliminadas o corregidas.

Método de medición

Antes de definir un método de medición se requiere fijar con claridad las características de lo que se mide. El VIM define al mensurando como la cantidad o magnitud que se intenta medir; debe incluir las tolerancias, las condiciones que le afectan, las interferencias, los requisitos particulares y para qué se quiere medir. Por ejemplo: la concentración de cobre en una muestra de sal de calidad alimentaria, el volumen de un matraz a 20°C. Los valores que se le pueden atribuir al mensurando se obtienen usando un procedimiento detallado acorde con uno o más principios de medida y con un método.

Instrumentos y equipo

El equipo de medición contempla el instrumento de medición, el patrón de medida, el material de referencia y cualquier aparato auxiliar necesario para llevar a cabo un proceso de medición. El equipo se debe escoger considerando el uso y las propiedades metrológicas. Los instrumentos de medición deben ser periódicamente calibrados, verificados y confirmados, el equipo auxiliar debe ser calificado, caracterizado y también confirmado.

Trazabilidad

Según el VIM, la trazabilidad permite relacionar el resultado de medir con el SI, a través de un patrón físico, una constante natural o materiales de referencia certificados (MRC). Los métodos primarios proporcionan el valor del MRC, sea pureza, propiedad fisicoquímica, contenido de elemento minoritario o traza sin referencia a un estándar. Algunos métodos que por sus características pueden ser considerados potencialmente como primarios, podemos mencionar: gravimetría, coulombimetría, espectrometría de masas de dilución isotópica, de un paso y de dos pasos, y depresión el punto de congelación (Quinn, 2001). El Comité Consultivo para Cantidad de Materia (CCQM) es el encargado por parte del BIPM de presentar actividades relacionadas con métodos primarios, comparaciones internacionales y establecer la equivalencia internacional entre laboratorios nacionales.

Muestreo

En ocasiones por la naturaleza de la medición es necesario escoger una parte de lo que se va a medir: esa fracción representativa puede ser una sustancia, un material, o un número de piezas de un lote. Las muestras deben elegirse de manera que sean representativas de la población: esto se logra estudiando la relación que existe entre una población y las muestras obtenidas de esa población. El laboratorio debe tener procedimientos para registrar los datos y las operaciones relacionadas con el muestreo que forma parte de la medición que lleva a cabo. Estos registros deben incluir el procedimiento de muestreo utilizado, la identificación de la persona que lo realiza, las condiciones ambientales (si corresponde) y los diagramas u otros medios equivalentes para identificar el lugar del muestreo según sea, las técnicas estadísticas en las que se basan los procedimientos de muestreo y la incertidumbre asociada al procedimiento de muestreo.

Manejo de los elementos que acompañan al ensayo

Este rubro se refiere a las actividades de transportación, recepción, manejo, protección, almacenaje, retención y/o disposición final de los elementos del proceso de medición, incluyendo todas las provisiones necesarias para proteger la integridad de cada uno de los elementos. Se requiere conocer de manera objetiva (con la participación de la estadística) si este manejo produce un efecto en el resultado final, y si es necesario corregir y estimar la contribución a la incertidumbre de medición.

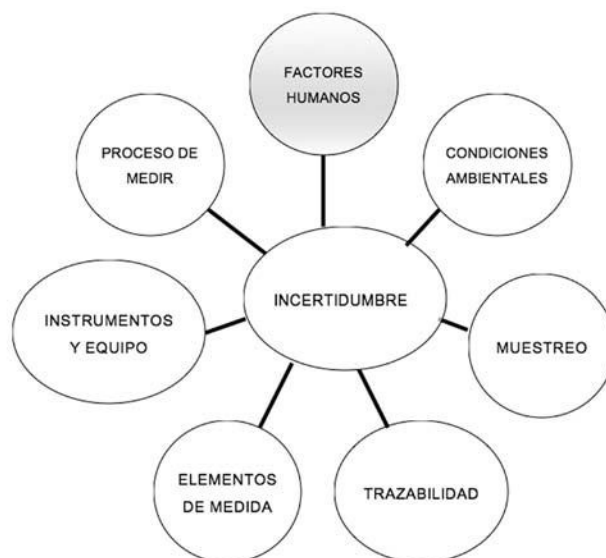


Figura 2. Factores que determinan el desarrollo confiable del trabajo experimental y contribuyen a la incertidumbre de medición.

Los factores anteriormente mencionados proporcionan a la medición un grado de dispersión que es evaluado a través de la incertidumbre. Para su evaluación, el BIPM y 11 laboratorios nacionales de Metrología prepararon conjuntamente la recomendación INC-1 (BIPM, 1980). Este documento, confirmado por el CIPM en 1986, caracterizó las incertidumbres como varianzas o desviaciones típicas estimadas. En 1993 se generó un documento con más información (BIPM, ISO, 1993), éste fue actualizado en 1995 (BIPM, ISO, 1995) y en el 2008 el grupo de trabajo del Comité para Guías de Metrología del BIPM decidió producir una serie de documentos complementarios, la serie JCGM (JGCM, 2008).

La formación en Metrología

El esquema que la Metrología plantea requiere profesionales que cumplan con ciertas características, como tener la capacidad para lograr que laboratorios de ensayo sean técnicamente competentes, que calibren y/o verifiquen instrumentos, que

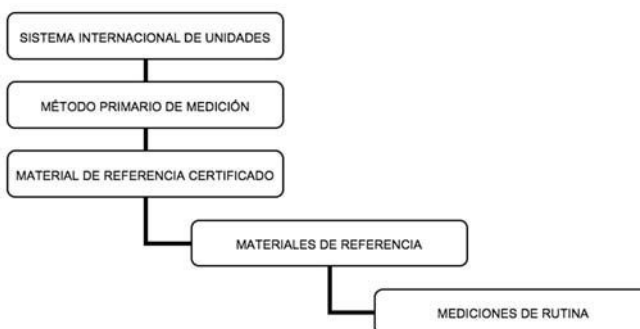


Figura 3. Trazabilidad en laboratorios de ensayo.

sepan evaluar el trabajo del personal, que sepan validar métodos de ensayo, que sepan organizar ensayos de aptitud y sobre todo que sean capaces de usar métodos primarios para dar valores a materiales de referencia. Sin duda, muchas de las actividades que el esquema requiere es responsabilidad de un profesional, seguramente dedicado exclusivamente a la Metrología como lo plantean diversas universidades, como las de Irkutsk (Samagunova, 2004), Israel (Kuselman, 2008), Tartu (Sagunova, 2009), o bien un profesional que se ha especializado o ha recibido cursos de educación continua, como lo plantean otras instituciones de educación superior (Alvarez, 2007). Sin embargo, la investigación del entorno que este trabajo hizo a través de un análisis primario del contexto y de la información de fuentes secundarias, deja clara la necesidad de la participación del químico en este esquema.

El análisis primario del contexto consistió en identificar las necesidades de los sectores industrial y comercial, los acuerdos de los tratados internacionales y las tendencias hacia el futuro. Para ello se analizaron los puestos de trabajo de laboratorios secundarios de calibración y de ensayo, se consultaron los trabajos de organizaciones internacionales de Metrología, de laboratorios primarios en el área de química, de entidades de acreditación y de organismos de normalización. Parte del material de este análisis primario es mostrado en la primer parte de este documento, en el aspecto histórico y en el esquema internacional de trabajo metrológico.

Las fuentes secundarias consultadas fueron contribuciones de simposios y conferencias de Metrología, políticas internacionales, nacionales y las nuevas tendencias de proyectos educativos entre las cuales se mencionan algunas de ellas a continuación.

La Conferencia Internacional en Metrología Química, del Medio Ambiente, de Alimentos y de la Nutrición, realizada en septiembre de 2008 en Budapest, Hungría (MEFNM, 2008), destacó los vínculos entre Metrología química aplicada a grupos específicos de medida en medio ambiente, alimentos y nutrición, así como las necesidades en materia de desarrollo y validación de nuevos métodos de medida y de materiales de referencia, aplicación de métodos estadísticos e implementación de adecuados y eficientes sistemas de calidad.

La política de hacer química sostenible estará ausente si no logramos medir las características de nuestro hábitat. Por ello es de crucial importancia que los resultados de medir representen una correcta imagen de la situación particular. Esto hace que el desarrollo sostenible sea imposible sin la Metrología (Meinrath y Kalin, 2005).

El sistema formativo se preocupa por impulsar en los estudiantes un comportamiento ético como manifestación del sentido de responsabilidad social, y para ello parte de que el desarrollo humano posee dos campos esenciales: el cultivo de la inteligencia hasta alcanzar la comprensión y el ejercicio de la voluntad para optar por la responsabilidad de realizar un trabajo bien hecho (Villalobos y López, 2004), (Zumalacárregui y Alonso, 2002). Asimismo, en su búsqueda de cumplimiento de un trabajo bien hecho, la Metrología lleva junto

con su forma de actuar un comportamiento ético, que también debe acompañar cada una de sus actividades.

En su documento Diez aspectos de la educación para todos, la UNESCO hace énfasis en la adquisición de competencias para la vida activa, que permitan tomar decisiones bien fundadas para mejorar la salud, nivel de vida y lograr un medio ambiente más seguro y sostenible, que nos lleve a la construcción de un mundo de paz, dignidad, justicia e igualdad. Como se expuso anteriormente, esto se logra, entre otras cosas, con la ayuda de tener información completa; sin la Metrología sería difícil lograr cumplir estos objetivos.

Algunas universidades consideran asignaturas de Metrología para las carreras de Química, como es el caso de la Universidad de Córdoba (Valcárcel, 1999) y las experiencias de Cuba en educación continua con países latinoamericanos (Alvarez, 2007).

Con este conjunto de consideraciones previas y ante la pregunta ¿qué enseñar de Metrología al químico?, se propone que la función metrológica del químico está definida por un conjunto complejo de acciones donde el químico participa. Cada acción o actividad requiere capacidades que le permitan realizar eficazmente sus tareas. Para tener una mejor comprensión de la función del químico en el esquema que la Metrología plantea, y con base en la didáctica (Néricsi, 1997; Eng, 2009; Coll, 2009), este trabajo agrupa las acciones en seis áreas de actividad. A cada área se le asocian factores o aspectos; cada factor está contenido por competencias y cada competencia requiere de los conocimientos, las habilidades y las actitudes necesarias para cumplir con el área de actividad.

Las áreas de actividad identificadas son divididas en dos grupos; en el primero se incluyen las áreas de actividad asociadas al proceso de medición: Planificación y programación de mediciones con criterios basados en VIM, obtención de medidas confiables y evaluación continua del proceso de medición. Las áreas del segundo grupo son actividades auxiliares: tratamiento de datos experimentales, desarrollo de pruebas de aptitud, desarrollo, mejora y aplicación de métodos primarios y aplicación de actividades relacionadas con Metrología legal. En las tablas 1 y 2 se presenta la clasificación propuesta.

Al primer grupo se le asocian siete factores: Humanos; instalaciones y controles ambientales; método de medida; equipo; trazabilidad e incertidumbre; muestreo, y manejo de los elementos de ensayo. Aunque son los mismos factores para cada área de actividad, las competencias que se asocian a cada factor son diferentes, por ejemplo: el factor método de medida en el área de actividad de planeación requiere que el químico tenga la habilidad de escoger el método adecuado para el uso previsto; eso significa que sea escogido de acuerdo con lo que se va medir, considerando la incertidumbre y tolerancias. En el área de obtención de medidas confiables, este mismo factor requiere que el analista tenga la habilidad para seguir instrucciones, reconocer el momento en que pueden cometerse errores e identificar las fuentes de incertidumbre. En la tercera actividad se refiere a que ya se realizó la medición y ya se obtuvo el dato; aquí el profesional químico tiene

Tabla 1. áreas de actividades asociadas al proceso de medición.

<i>Áreas de actividad</i>	<i>Factores</i>	<i>Competencias</i>
Planificación y programación de mediciones con criterios basados en VIM	Humanos	Evaluar la eficacia de la capacitación. Habilidad para comunicar.
	Instalaciones y controles ambientales	Identificar magnitudes de influencia.
	Método de medida	Definir el mensurando. Escoger el método de medida para el uso específico.
	Equipo	Interpretar informes de calibración.
	Trazabilidad e incertidumbre	Selección de estándares de referencia. Especificar la incertidumbre.
	Muestreo	Escoger la metodología adecuada.
	Manejo de los elementos de ensayo	Habilidad para transportar las muestras.
Obtención de medidas confiables	Humanos	Habilidades para supervisar el trabajo del analista.
	Instalaciones y controles ambientales	Habilidad para controlar condiciones fijas.
	Método de medida	Habilidad para seguir instrucciones.
	Equipo	Eliminar o corregir errores.
	Trazabilidad e incertidumbre	Calibrar usando datos de referencia. Identificar y estimar homocedasticidad o heterocedasticidad.
	Muestreo	Identificar la homogeneidad de la muestra.
	Manejo de los elementos de ensayo	Evitar el deterioro de los elementos de ensayo durante la medición.
Evaluación continua del proceso de medición	Humanos	Estimar precisión intermedia.
	Instalaciones y controles ambientales	Demostrar a través de validación que se incluyen todas las magnitudes de influencia.
	Método de medida	Validar el método. Demostrar la aptitud. Identificar las fuentes de incertidumbre del método.
	equipo	Verificar, confirmar metrologicamente. Calificar equipo.
	Trazabilidad y fuentes de incertidumbre	Verificar que se mantiene la trazabilidad durante la medición. Identificar mayor aportación a la incertidumbre.
	Muestreo	Estimar incertidumbre.
	Manejo de los elementos de ensayo	Correlacionar los resultados para diferentes características de un elemento de ensayo.

que adquirir habilidades para dar seguimiento a la validez de los resultados. En la tabla 1 se enumeran las áreas de actividad asociadas al proceso de medición y se asocian factores mínimos para cada área; en la tercera columna se identifican algunas de las competencias.

Las actividades del segundo grupo son muy relevantes porque son las que permiten participar en el esquema metrológico internacional. Es importante mencionar dos de ellas por lo difícil que es lograr que los países participen: mantener y desarrollar materiales de referencia para proporcionar trazabilidad al SI. La preparación de materiales de referencia certificados es una actividad que requiere de procedimientos donde se aplican leyes de la Física y/o parámetros Químicos. Las pruebas de aptitud, en donde participan profesionales de diferentes disciplinas, pero el papel del Químico está enmarcado en la necesidad de establecer efectividad y compatibilidad de nuevos métodos de medición, en dar valores de referencia para las intercomparaciones, así como en la aplicación de pa-

rámetros químicos. A estas actividades se les asocian diversos factores que ayudan a identificar los conocimientos, habilidades y actitudes adecuadas para cada necesidad detectada. En la tabla 2 se muestran las áreas de actividad auxiliares.

Las competencias están asociadas a conocimientos, habilidades y actitudes. Para cada factor pueden identificarse un gran número de competencias estas deben ser cuidadosamente reconocidas propias del Químico. Sería poco práctico presentar todas las competencias que pueden identificarse para cada factor de cada área, en la tabla III sólo se presentan ejemplos de competencias con sus correspondientes conocimientos, habilidades y actitudes, para un factor de una área de actividad.

Conclusiones

Es necesario desarrollar la capacidad en los estudiantes para comprender y usar los conceptos metrológicos desde la fase temprana de su formación; también es indispensable crear

Tabla 2. Áreas de actividad auxiliares.

Áreas de actividad	Factores	Competencias
Tratamiento de datos experimentales	Diseño de experimentos	Interpretar datos estadísticos.
	Exactitud y veracidad	Aplicar las ensayos de escrutinio.
	Intervalos de tolerancia	Determinar intervalos de tolerancia estadística.
	Tablas de control	Interpretar tablas CUSUM.
	Aseguramiento de la calidad de mediciones	Detectar y analizar tendencias de datos.
	Relación entre variables, calibración lineal	Interpretar gráficas.
	Capacidad de detección	Determinar el valor crítico para una variable de respuesta.
	Estimación de la incertidumbre	Estimar la incertidumbre expandida.
	Comparación interlaboratorios	Obtener la media robusta. Aplicar Z-score.
	Métodos estadísticos para la estandarización y especificación	Aprobar o rechazar datos.
Desarrollar pruebas de desempeño	Organizar pruebas de desempeño	Definir el esquema de comparación.
	Dar valores asignados	Calcular la media robusta
Desarrollo, mejora y aplicación de métodos primarios	Método directo primario	Habilidad para usar la Culombimetría para dar valores a materiales de referencia. Identificar el potencial del método para que sea considerado primario.
	Método primario relacionado con un estándar	Habilidad para describir mediante una ecuación la relación entre un valor estándar y uno desconocido.
Aplicación de actividades relacionadas con Metrología legal.	Leyes Nacionales e Internacionales	Identificar sanciones de la Ley de Metrología y Normalización.
	Normatividad	Identificar entre una NOM y NMX.
	Certificación y Acreditación	Interpretar regulaciones técnicas.

una infraestructura de la medida en las instituciones de educación para lograr medidas confiables que ayuden a conocer los fenómenos lo más cercano a la realidad y tomar decisiones responsables. Para contribuir a crear cultura de Metrología se propone que el estudiante de las carreras de Química sea capaz de hacer un conjunto complejo de acciones. Este trabajo agrupa las acciones en seis áreas de actividad, a las que se le asocian factores o aspectos; cada factor está contenido por competencias y cada competencia requiere de los conoci-

mientos, las habilidades y las actitudes necesarias para cumplir con la actividad.

Agradecimiento

A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México (DGAPA-UNAM) por el apoyo otorgado a través del proyecto PAPIME PE 205506.

Bibliografía

- Alvarez, P., Jiménez, J., Cortés, I., Martínez, N., Some Latin American experiences concerning teaching of chemical metrology, *Accreditation Quality Assurance*, 12, 39-44, 2007.
- Becker, P., Bièvre, Fujii, K., Glaeser, M., Inglis, B., Luebbing, H., Mana, G. Considerations on future redefinitions of the kilogram, the mole, and the other units, *Metrologia*, 44, 1-14, 2007.
- BIPM IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML. JCGM 100:2008. *Evaluation of Measurement data. Guide to the expression on uncertainty in measurement*, France: BIPM, 2008.
- BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML. JCGM 101:2008. *Supplement 1, to the Guide to the expression on uncertainty in measurement. Propagation of distributions using Monte Carlo method*. Sevres, France, 2008.
- BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML. JCGM 200:2008. *International Vocabulary of Metrology. Basic in*

Tabla 3. Ejemplo de competencias.

Área de actividad: Evaluación continua del proceso de medición.

Factor: Factor humano.

1. Competencia: Estimar precisión intermedia.

Conocimientos: Modelo para estimar la exactitud y la veracidad de un método de medición.

Habilidades: Calcular medidas de dispersión, manejo de análisis de varianza, graficar

Actitudes: Orden, honestidad, paciencia, saberse equivocar, respetar secuencias, aceptar el ritmo

2. Competencia: Eliminar datos aberrantes.

Conocimientos: Estadísticos para ensayos de escrutinio Cochran, Grubs, h y k.

Habilidades: Interpretar lenguaje matemático, manejar tablas, graficar, tabular.

Actitudes: Orden capacidad crítica y objetividad, honestidad, considerar pros, contras y consecuencias.

- general concepts and associated terms*, Sevres, France: BIPM, 2008.
- BIPM, IEC, ISO, OIML, IUPAP, IUPAC, IFCC. *Guide to the expression on uncertainty in measurement*. ISO/TAG 4/GT 3, 1993
- BIPM, IEC, ISO, OIML, IUPAP, IUPAC, IFCC. *Guide to the expression on uncertainty in measurement*. ISO/TAG 4/GT 3, 1995.
- BIPM, ILAC, A., *Joint statement by the CIPM and the ILAC on the roles and responsibilities of national metrology institutes and national recognized accreditation bodies*, 2005. (Versión electrónica, consultada por última vez el 8 de octubre de 2009 en la URL http://www.bipm.org/utils/common/pdf/cipm-ilac_joint_statement.pdf)
- BIPM, *Le BIPM et la Convention du Mètre*. Consultada por última vez el 2 de septiembre de 2010 en la URL: <http://www.bipm.org/fr/bipm/>
- BIPM, *Recommendation INC-1*, Sevres, France: BIPM, 1980.
- Coll, C., *Psicología y Curriculum*. Barcelona: Paidós, 1992.
- Eng, J.A., "Competencias de la función docente", *Memorias del posgrado en Pedagogía*. México: Universidad Panamericana, 2009.
- ISO, IEC, *ISO/IEC-17025:2008 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. Geneva: ISO, 2008.
- ISO, OIML, IUPAC, IUPAP, IEC, *ISO 5725 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results*. Part 1, Part 2, Part 3, Part 4, Part 5, Part 6. Geneva: ISO 2005.
- Kuselman I., Teaching metrology and quality in chemistry based on methods of mathematical statistics and e-learning, *Accreditation and Quality Assurance*, **13**, 465-472, 2008.
- Leito I., Koort E., Herodes K., Kaljurand I., *Accreditation and Quality Assurance*, **7**, 159-162, 2002.
- MEFNM, *International Conference on Metrology of Environmental, Food and Nutritional Measurement Book of Abstracts*. Budapest, Hungary: IMEKO, 2008.
- Meinrath, G., Kalin, M. The role of metrology in making chemistry sustainable, *Accreditation Quality Assurance*, **10**, 327-337, 2005.
- Nérci, I. G., *Hacia una didáctica general dinámica*. Buenos Aires: Kapeluz, 1973.
- Quinn T. J., *Evaluation of the BCR program (1988-1992): Measurement and testing in Europe*. EUR 15041EN, 1-54 1993.
- Quinn, T. J., Milton, M.J.T., Primary methods for the measurement of amount of substance, *Metrologia*, **38**, 289-296, 2001.
- Smagunova, A. N., Teaching metrology at the Department of Chemistry of Irkutsk State University, *Journal of Analytical Chemistry*, **59**, 191-193, 2002.
- UNESCO. *Diez aspectos de la educación para todos*. Consultado por última vez el 19 de marzo del 2010 en la URL: <http://www.unesco.org/es/efa/the-efa-movement/10-things-to-know-about-efa/>
- Valcárcel, M. *Metrología en Química Fina*, 1999. Consultado por última vez el 2 de septiembre de 2010 en la URL: <http://www.uco.es/dptos/quimica-analitica/doctorado/asignatura01.pdf>
- Villalobos, E.M., López A., T., *Estrategias didácticas para una conducta ética*. México, D.F.: Publicaciones Cruz O., S.A., 2004.
- Zumalacarregui, L., Alonso, A., La educación en valores en la carrera de ingeniería Química, *Educ. quim.*, **13**, 124-128, 2002.