



# Los sistemas de unidades y el Sistema Internacional

Renovador esfuerzo internacional para promover el uso de las unidades métricas

Por **Carlos Casares**  
Comisión de Publicaciones, IAPG

## Un poco de historia

Desde los orígenes de la humanidad se vio la necesidad de disponer de un sistema de medidas para los intercambios comerciales. Según estudios científicos (arqueológicos y antropológicos) las unidades de medida empezaron a utilizarse hacia el año 5.000 a.C.

Los egipcios tomaron el cuerpo humano como base para las unidades de longitud, y así usaron las longitudes de sus antebrazos, pies, manos o dedos. El codo, cuya distancia es la que hay desde el codo hasta la punta del dedo corazón de la mano, fue la unidad de longitud más utilizada en la antigüedad, de tal forma que el codo real egipcio es la unidad de longitud más antigua conocida. El codo fue heredado por los griegos y los romanos, aunque no coincidían en sus longitudes.

El 23 de septiembre de 1999, la sonda espacial *Mars Climate Orbiter* se perdió durante una maniobra de entrada en órbita en torno del planeta Marte, cuando la nave espacial se estrelló contra éste.

Las investigaciones preliminares indicaron que la empresa aeroespacial Lockheed Martin Astronautics, fabricante de la sonda, presentó una tabla de calibración del propulsor con datos de aceleración en libras de fuerza en lugar de newtons (la unidad métrica empleada durante decenas de años por la NASA).

El software para la navegación celeste en el Laboratorio de Propulsión a Chorro esperaba que los datos del impulso del propulsor estuvieran expresados en newton segundo, pero los ingenieros de la Lockheed Martin Astronautics ingresaron los datos en libras de fuerza segundo y el impulso fue interpretado como aproximadamente la cuarta parte de su valor real.

La confusión de unidades de medida le costó a la NASA 125 millones de dólares... además de la vergüenza.

Hasta el siglo XIX proliferaban distintos sistemas de medición, lo que suponía una de las causas más frecuentes de disputas entre mercados y entre los ciudadanos y los funcionarios encargados de la recaudación tributaria. A medida que se extendía por Europa el intercambio de mercancías, los poderes políticos fueron viendo la necesidad de que se “normalizara” un sistema de medidas. La primera adopción oficial de tal sistema ocurrió en Francia en 1791 después de la Revolución Francesa de 1789. La Revolución, con

Antoine Lavoisier (químico francés, 1743-1794) llegó a decir: “nada más grande ni más sublime ha salido de las manos del hombre que el sistema métrico decimal”.

son decimales, lo que facilitaba significativamente las operaciones aritméticas, y que las unidades de medida son fácilmente reproducibles.

Así fue que, en 1875, con el objeto de garantizar la uniformidad y equivalencia en las mediciones, como también facilitar todas las actividades tecnológicas, industriales y comerciales, diversas naciones del mundo suscribieron el Tratado del Metro, en el que se adoptó el Sistema Métrico Decimal. Este Tratado fue firmado en París por 17 países. El Tratado del Metro otorga autoridad a la *Conférence Générale des Poids et Mesures* (CGPM, Conferencia General de Pesas y Medidas), al *Comité International des Poids et Mesures* (CIPM, Comité Internacional de Pesas y Medidas) y al *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM, Oficina Internacional de Pesas

y Medidas), para actuar a nivel internacional en materia de metrología.

La tarea realizada por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, por sus siglas en inglés) suele considerarse la primera labor normalizadora a gran escala. Comenzó su aporte en 1906, con una serie de trabajos orientados a la unificación de los métodos y a la regulación de la producción electrotécnica. En 1938 publicaron la primera edición del *Vocabulaire électro-technique international*, al que le han seguido sucesivas ediciones ampliadas.

En 1926, algunos organismos nacionales de normalización fundaron la Federación Internacional de Asociaciones Nacionales de Normalización (ISA), con la finalidad de promover el comercio internacional a través de la estandarización de los procesos de producción y los productos. La ISA puede

su ideología oficial de la *razón pura*, facilitó este cambio y propuso como unidad fundamental *el metro*<sup>1</sup>. El sistema se derivaba de las propiedades de objetos de la naturaleza, como el tamaño de la Tierra y la densidad del agua, y en relaciones sencillas entre una unidad y la otra. Otra de las grandes ventajas del sistema se da en que los múltiplos y submúltiplos

SI - Magnitud Base	Nombre	Símbolo
longitud	metro	m
masa	kilogramo	kg
tiempo	segundo	s
corriente eléctrica	amperio	A
temperatura termodinámica	kelvin	K
intensidad luminosa	candela	cd

considerarse el precedente inmediato del actual Organismo Internacional de Normalización (ISO), creado después de la Segunda Guerra Mundial.

En el año de 1948, la novena Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) encomienda al Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) el estudio completo de una reglamentación de las unidades de medida del sistema MKS y de una unidad eléctrica del sistema práctico absoluto, a fin de establecer un sistema de unidades de medida susceptible de ser adoptado por todos los países signatarios de la Convención del Metro.

En 1954, la décima Conferencia General de Pesas y Medidas, adopta las unidades de base de este sistema práctico de unidades (ver tabla de pág. 85).

En 1956, el Comité Internacional de Pesas y Medidas establece el nombre de *Système International –SI–* (Sistema Internacional de Unidades), para las unidades de base adoptadas por la décima CGPM.

Posteriormente, en 1960 la décima primera CGPM fija los símbolos de

las unidades de base, adopta definitivamente el nombre de Sistema Internacional de Unidades; designa los múltiplos y submúltiplos y define las unidades suplementarias y derivadas.

La decimocuarta CGPM efectuada en 1971, decide incorporar a las unidades de base del SI, la mol como unidad de cantidad de sustancia.

Con ésta son siete las unidades de base que integran el Sistema Internacional de Unidades.

En 1980, en ocasión de la reunión del CIPM se hace la observación de que el estado ambiguo de las unidades suplementarias compromete la coherencia interna del SI y decide recomendar que se interprete a las unidades suplementarias como unidades derivadas adimensionales.

Finalmente, la vigésima Conferencia General de Pesas y Medidas celebrada en 1995 decide aprobar lo expresado por el CIPM, en el sentido de que las unidades suplementarias del SI se consideren como unidades derivadas adimensionales, y recomienda, consecuentemente, eliminar

esta clase de unidades suplementarias como una de las que integran el Sistema Internacional. Como resultado de esta resolución, que fue aprobada, el SI queda conformado únicamente con dos clases de unidades: las de base y las derivadas.

El Sistema Internacional, a través de varias contribuciones, ha evolucionado hasta llegar a ser un sistema totalmente coherente y sin ambigüedad. Cuando se lo implementa correctamente, las cantidades físicas se nombran con términos claros y bien definidos; en tanto que las unidades se abrevian de una manera única e inequívoca.

## El porqué de la normalización o estandarización

La estandarización o normalización<sup>2</sup> puede comenzar como un proceso informal en virtud del cual el cliente o comprador, que trata con un proveedor o productor, requiere el

abastecimiento regular de un producto con determinado color, tamaño, dureza, etc. En definitiva lo que se busca es aplicar parámetros y/o criterios preestablecidos y uniformes a la fabricación de un producto y/o realización de una actividad, a fin de conocer con bastante precisión qué es lo que se va a obtener y/o disponer. Se trata simplemente de la reducción del número de los diferentes productos lanzados o adquiridos por una compañía o un cliente.

La estandarización es el desarrollo sistemático, aplicación y actualización de patrones, medidas uniformes y especificaciones para materiales, productos o marcas, y no es un proceso nuevo, ha existido desde hace mucho tiempo y constituye un método excelente para controlar los costos de materiales, eliminar el número de proveedores y ayudar a la gente a identificar los productos en donde quiera que se encuentre.

La intercambiabilidad de piezas, partes y repuestos sólo ha sido posible manteniendo estrechos márgenes de tolerancias en sus dimensiones a partir de un proceso de normalización o estandarización. La intercambiabilidad es esencial cuando se producen unidades en distintas plantas fabriles e inclusive en diferentes países, ya que en el proceso de armado todas las partes deben poder acoplarse sin necesidad de ajustes o remecanizados.

La evolución de la estandarización en los países desarrollados ha sido un proceso continuo de muchos años y aún no está completa. A medida que cambian las preferencias del mercado y las exigencias del consumidor, también cambian los estándares y grados de calidad establecidos.

La competencia entre compañías es cada vez mayor, la exigencia de los consumidores por recibir mejores productos y servicios se incrementa y el avance de la tecnología se desarrolla a gran velocidad; por ello, las empresas –en busca de crecimiento– han tenido que cambiar su manera de administrar y operar, mejorar la eficiencia en sus procesos, disminuir sus costos y crear un valor agregado para subsistir.

## La estandarización y el sistema de unidades

De la misma manera en que los países que son miembros de la Comunidad Europea optaron por adoptar una moneda unificada, el Euro, a fines de 2001, se han realizado muchos intentos a través de los años para llevar al mundo a adoptar un único sistema de unidades de medida.

El Sistema Inglés o Sistema Im-

perial (ampliamente en los Estados Unidos de América y, en menor medida, en algunos países con tradición británica) creó unidades estándares tomando como referencia las partes del cuerpo. La razón fue que siempre las personas tienen estas referencias. Ejemplo: el pie y pulgar. El problema de este sistema es que de persona a persona las medidas son diferentes. En el 1300, el Sistema Inglés fue estandarizado por los reyes ingleses. En

El 23 de julio de 1983, cuando el vuelo 143 de Air Canada, un nuevo Boeing 767-200, volaba a 12.000 metros de altura sobre el lago Red Lake Ontario, el sistema EICAS (Engine Indicator and Crew Alerting System) de la aeronave sonó sucesivamente, alertando al piloto de un problema en la presión de combustible. El piloto tras verificar la falta de combustible decidió girar hacia Winnipeg y solicitó un aterrizaje de emergencia.

Sin combustible en los tanques ni potencia en los motores, el piloto no tuvo más opciones que realizar un planeo mortal hasta el lugar más cercano.

Contra todo pronóstico, el capitán aterriza la aeronave en una base aérea abandonada en Gimli, reconvertida en parque de recreo y donde se estaban celebrando carreras de karts.

Los pasajeros fueron afortunados de que el capitán fuese mejor para pilotear y aterrizar un "planeador" que para manejar sistemas de unidades: nadie, afuera y adentro del avión muere.

El motivo fue el mal cálculo de la cantidad de combustible que tenía el avión, tras la falla de funcionamiento del FQIS (Fuel Quantity Information System Processor) y el uso de un factor de conversión equivocado (usaron libras por litro en vez de kilogramos por litro). El Boeing 767 sale de Montreal con 10.000 kg (22.300 libras) de combustible, menos de la mitad de lo que necesitaba para llegar a su destino, Edmonton (22.300 kg).

el año 1875, EE.UU. junto con otros 16 países firmaron el Tratado del Metro, el cual define las unidades inglesas en términos del Sistema Métrico.

El Sistema Métrico fue establecido por la Academia Francesa de las Ciencias en 1791. La Academia creó el sistema de medidas basado en referencias invariables de la naturaleza. Si bien el sistema métrico fue introducido a finales del siglo XVIII, resultó una ardua lucha llegar a adoptarlo por completo. Pasaron unas cuantas décadas hasta su implementación en Euro-

pa, y más aún en el resto del mundo. Pero hoy en día se utiliza en casi todas partes, inclusive en el Reino Unido las unidades del Sistema Imperial están siendo lentamente reemplazadas por el Sistema Internacional de Unidades<sup>3</sup>; mientras que en Estados Unidos la inercia del antiguo sistema (U.S. Customary System –USCS–) y el alto costo de migración ha impedido en gran medida dicho cambio, a pesar de los grandes esfuerzos realizados por el NIST (National Institute of Standards and Technology).

El organismo regente de la metrología legal en el ámbito mundial es la Organización de Metrología Legal (OIML). Los países miembros o adherentes a la OIML deben adoptar dentro de sus legislaciones los reglamentos y recomendaciones establecidas en la citada organización. En la Argentina, desde 1972, rige la ley 19.511 de Metrología Legal, la cual establece la vigencia de las unidades del Sistema Métrico Legal Argentino –SI.ME.L.A. Este sistema adoptó, por decreto 1157/1972, el Sistema Internacional de Unidades basado en el sistema métrico decimal. Las unidades que integran el SI.ME.L.A. están detalladas en el decreto 878/1989 y constituyen el Anexo de la ley 19.511.

En la Norma ISO 1000 encontramos detallado el Sistema Internacional de Unidades, sus unidades base, las derivadas, sus múltiplos y submúltiplos, como así también su nomenclatura y simbología. En la Argentina el organismo encargado de la estandarización es el IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales), siendo la Norma IRAM 2 la que establece el sistema de unidades de acuerdo con el SI.ME.L.A., que adopta el SI y algunas otras unidades.

Por desgracia, el SI se utiliza a veces con excesiva flexibilidad y falta de disciplina. Por ejemplo, el significado de M para el SI es la abreviatura de mega, la palabra griega para "gran-

de”, que representa 1.000.000 ó  $10^6$  (un millón), mientras que en algunos países, M frecuentemente se utiliza para al numeral romano para 1.000 (mil) y un millón se simboliza con dos M mayúsculas (MM). En el SI 1.000 (mil) se identifica con la letra k minúscula (abreviatura de kilo) y no la K mayúscula que está reservada para la temperatura absoluta Kelvin. Todo esto genera errores bastante comunes, al igual que el uso indistinto del punto o de la coma para la separación decimal sin las adecuadas aclaraciones.

Como estos ejemplos hay muchos otros que se observan a diario, incluso en los usuarios destacados del SI, lo cual no ha contribuido a la implementación efectiva del SI como sistema internacional de unidades, único y homogéneo.

## Los organismos de estandarización y las normas de calidad

ISO es un órgano consultivo de la Organización de las Naciones Unidas y coopera estrechamente con la Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission, IEC).

ISO no es un acrónimo; proviene del griego *iso*, que significa igual. Es un error común el pensar que ISO significa International Standards Organization, o algo similar; en inglés su nombre es International Organization for Standardization, mientras que en francés se denomina Organisation Internationale de Normalisation; el uso del acrónimo conduciría a nombres distintos: IOS en inglés y OIN en francés, por lo que los fundadores de la organización eligieron ISO como la forma corta y universal de su nombre.

La finalidad de ISO es la elaboración de normas internacionales industriales y comerciales, en consonancia con el Acta Final de la Organización Mundial del Comercio, con el propósito de:

- facilitar el comercio,
- facilitar el intercambio de

información,

- contribuir a la transferencia de tecnologías.

En la actualidad, a nivel mundial, las normas ISO 9000 e ISO 14000 son ampliamente requeridas, debido a que garantizan la calidad de un producto mediante la implementación de controles exhaustivos, asegurándose de que todos los procesos que han intervenido en su fabricación operan dentro de las características

previstas. La normalización es el punto de partida en la estrategia de la calidad, así como para la posterior certificación de la empresa.

Estas normas fueron escritas con el espíritu de que la calidad de un producto no nace de controles eficientes, sino de un proceso productivo y de soportes que operan adecuadamente. De esta forma es una norma que se aplica a la empresa y no a los productos de ésta. Su implementación asegura al cliente que la calidad del

El gran físico y matemático inglés William Thomson (lord Kelvin, 1824-1907) consideraba que solamente puede aceptarse como satisfactorio nuestro conocimiento si somos capaces de expresarlo mediante números. La afirmación de Kelvin no supone la descalificación de valiosas formas de conocimiento, sino que simplemente destaca la importancia del conocimiento cuantitativo.

La operación que permite expresar una propiedad o atributo físico en forma numérica es precisamente la medida, y para que haya claridad y entendimiento en la transmisión de conocimientos dicha medida tiene que estar tipificada.

producto que él está comprando se mantendrá en el tiempo. En la medida en que existan empresas que no hayan sido certificadas constituye la norma una diferenciación en el mercado. Sin embargo, con el tiempo se transformará en algo habitual y se comenzará la discriminación hacia empresas no certificadas. Esto ya ocurre hoy en países desarrollados en donde los departamentos de abastecimiento de grandes corporaciones exigen la norma a todos sus proveedores.

La mayoría de las empresas que producen artículos para su venta en el mundo desarrollado enfrentan la

posibilidad, hoy en día o en el futuro próximo, de tener que pasar por una certificación independiente para demostrar sus sistemas de administración de calidad que se ajustan a ISO 9000.

Si bien los proveedores de servicios no enfrentan las mismas demandas que otras empresas que abastecen materiales y componentes, el requerimiento para aquéllos va creciendo día tras día.

Los impulsores iniciales de los sistemas de administración de la calidad y del entorno, representados por las normas ISO 9000 e ISO 14000, son diferentes. El impulsor para ISO 9000 en Europa y el resto del mundo

es el cliente o el mercado y, como tal, es "voluntario"; mientras que el impulsor para ISO 14000 es el cumplimiento con la legislación.

La certificación ISO 9000 puede servir como una forma de diferenciación "clase" de proveedores, particularmente en áreas de alta tecnología, donde la alta seguridad de los productos es crucial. En otras palabras, si dos proveedores están compitiendo por el mismo contrato, el que tenga un certificado de ISO 9000 puede tener una ventaja competitiva con algunos compradores.

Las normas ISO aportan grandes beneficios en el sistema de calidad a las empresas, pero aunque ella está diseñada para agregar valor en el sistema de calidad, no siempre se cumple el objetivo y no por causa de la norma misma.

Implementar un sistema hacia la calidad como ISO 9000 requiere más educación en la norma; es necesario hacer un proceso de sensibilización que involucre a todos los

actores de la empresa, entendiendo la sensibilización no como una fase académica del proceso o como un marco conceptual, sino que ésta debe ser un proceso de facilitación y de concientización hacia el cambio, el cual aportará elementos que creen un ambiente favorable para el nuevo sistema de calidad en la empresa.

“No se trata de pasar un examen sino de mejorar la gestión de calidad de la empresa de manera efectiva. El objetivo no debería ser la certificación, sino utilizar ésta para alcanzar la calidad total”.

A esta altura de los acontecimientos, no debe pasar inadvertido que la certificación de Normas ISO conlleva a la aplicación del Sistema Internacional de Unidades. Este detalle puede parecer un poco mundano y los que aplican y/o promueven el SI en este contexto pueden parecer de mente estrecha, pero si una organización o un individuo toma esto a la ligera, a la larga puede resultar muy costoso y/o peligroso.

## Conclusiones

Es tiempo de dejar a un lado las unidades convencionales de la vieja revolución industrial y adoptar las medidas de la ciencia precisa, en todos los aspectos de la administración, el comercio y la ingeniería.

Si las personas no son conscientes y/o menosprecian el porqué de la necesidad de utilizar un único sistema de medidas, va a llevar aún muchos años más tener todos un mismo lenguaje cuantitativo.

Lo único que podría acelerar dicho proceso de asimilación es la necesidad de las empresas de certificar normas internacionales de calidad, como la ISO 9000, lo cual conlleva necesariamente a tener que adoptar tarde o temprano el SI.

En este marco de acción, las escuelas, las universidades y las instituciones técnicas son esenciales y deberían renovar sus esfuerzos en promover el uso regular del “sistema métrico” en todos los ámbitos de la vida cotidiana. ■

## Notas

- 1 (Del griego: medida). Unidad de longitud del SI (símbolo: m). Originalmente se estableció como la diezmilésima parte del cuadrante del meridiano terrestre. Hoy, con más precisión, se define como la longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz durante un tiempo de  $1/299.792.458$  de segundo (de la R.A.E.).
- 2 Normalizar (norma), estandarizar (estándar) y tipificar (tipo) son sinónimos y significan: “Ajustar varias cosas semejantes a modelo o patrón común” (de la R.A.E.).
- 3 En Gran Bretaña, en el ámbito de la ciencia y técnica ya se utiliza el Sistema Internacional de Unidades como prioritario, habiendo quedado el Sistema Imperial desplazado a un segundo plano (se utilizan como equivalencias entre paréntesis).