

# Historia del Sistema Internacional de Unidades (SI)

Al querer describir la historia del Sistema Internacional de unidades (SI), es importante no solo referirse a la mera crónica de los descubrimientos científicos, si no también a las causas y bases que originaron su desarrollo y a los diferentes obstáculos que detuvieron su marcha.

“Para todos los pueblos para todos los tiempos”

Es indudable que los primeros hombres tuvieron que dedicar la mayor parte de su tiempo a la lucha por la supervivencia. Sin embargo, no paso mucho tiempo para que las sociedades primitivas necesitaran “medidas rudimentarias” para muchas actividades comunes como: construir viviendas de un tamaño y forma apropiados, ropa, el trueque de alimentos o materias primas. Los pesos y las medidas estaban entre las herramientas más tempranas inventadas por el hombre.

El hombre empezó a tener en su propio cuerpo y en sus alrededores naturales, las primeras referencias de medida, expedientes babilónicos, de egipcios y la Biblia señalan que la longitud fue medida con el antebrazo, mano, o el dedo, así como las unidades de tiempo se basaban en los periodos del sol y la luna. Cuando era necesario comparar las capacidades o pesos, se contaba con recipientes los cuales eran llenados con semillas como las habas.



Un ejemplo claro de lo anterior es el “Quilate” el término proviene de la antigua palabra griega *Keration*, que significa algarrobo, porque las semillas de este fruto eran utilizadas en la antigüedad para pesar joyas y gemas debido a la uniformidad del peso entre semillas. Cuando los árabes adoptaron esta unidad de masa el nombre se deformó a *quirat* y los españoles al adoptarla la deformaron a *quilate*. Actualmente, un *quilate* equivale a la quinta parte de un gramo, esto es 200 miligramos (mg).

## Somos su Relevo a la Calidad

*La Guía MetAs*, es el boletín periódico de MetAs & Metrologos Asociados.

En *La Guía MetAs* se presentan noticias de la metrología, artículos e información técnica seleccionada por los colaboradores de MetAs & Metrologos Asociados, que deseamos compartir con nuestros colegas, usuarios, clientes, amigos y con todos aquellos relacionados con la metrología técnica e industrial.

Calle: Jalisco # 313. Colonia: Centro  
49 000, Cd. Guzmán, Zapotlán El Grande, Jalisco, México  
Teléfono & Fax: 01 (341) 4 13 61 23 & 4 14 69 12 con tres líneas

### Servicios Metrologicos:

#### Laboratorio de Calibración:

Presión, Alto Vacío, Temperatura, Humedad, Eléctrica y Vibraciones

#### Ingeniería:

Selección de equipos, Desarrollo de Sistemas de Medición y Software, Reparación y Mantenimiento

#### Gestión Metrologica:

Subcontratación de Servicios, Outsourcing, Selección de Proveedores, Confirmación Metrologica

#### Consultoría:

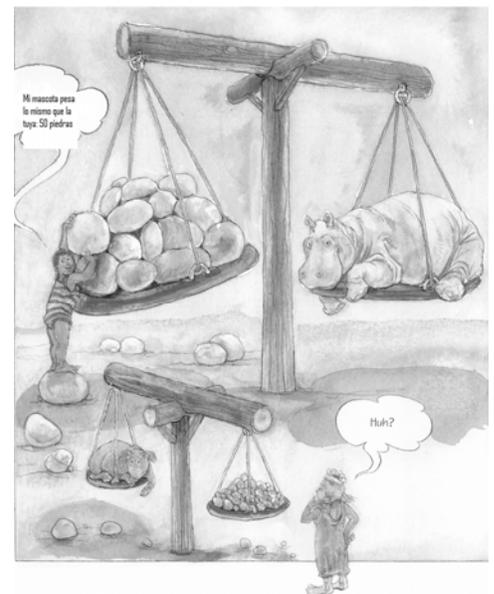
Capacitación, Entrenamiento, Asesoría, Auditorías, Ensayos de Aptitud, Sistemas de Calidad

Con los primeros sistemas de medida surgieron una gran cantidad de problemas, el solo hecho de asociar a los objetos físicos a los números constituyó establecer los primeros pasos hacia las matemáticas, una vez que el paso de asociar números a los objetos físicos se haya hecho, llega a ser posible comparar los objetos contra los números asociados, lo cual conduce al desarrollo de métodos de trabajo con números.

Cuando los hombres empezaron a contar usaron los dedos, marcas en bastones, nudos en una cuerda y algunas otras formas para ir pasando de un número al siguiente. A medida que la cantidad crece se hace necesario un sistema de representación más práctico, simultáneamente y en diferentes partes del mundo y en distintas épocas se llegó a la misma solución, cuando se alcanza un determinado número se hace una marca distinta que los representa a todos ellos. Este número es la base.

Casi todos los sistemas utilizados en la antigüedad representaban con exactitud los números enteros, unos carecían de fundamentos, algunos mostraban gran confusión, otros no fueron capaces de representar grandes cantidades, algunos requerían de tal cantidad de símbolos que los volvió imprácticos.

En el año 400 A.C. Atenas tenía un gran centro comercial, el cual abarcaba una gran área, en esa época y en esa zona se establecieron por la ley “referencias” de medida que las hicieron obligatorias para la comercialización, si se encontraba una “medida” la cual no estaba conforme a la referencia establecida, se confiscaba y se destruía. (metrología legal).

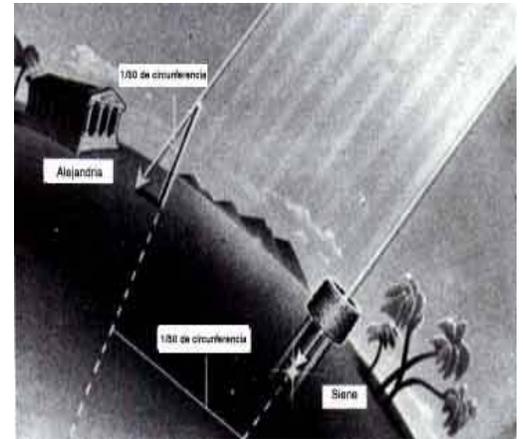


## Primeros Sistemas de Medida

Conforme las civilizaciones se desarrollaron, las medidas llegaron a ser más complejas, ya que la gran diversidad y un sin número de sistemas de medición eran la causas principales de disputas entre mercaderes y funcionarios del fisco. La invención de los sistemas de numeración y de la ciencia de las matemáticas permitió crear sistemas enteros de unidades de la medida que resultaron momentáneamente satisfechas para la negociación y comercio, sin embargo la complejidad de las medidas se incrementaba debido entonces a la división de tierras, impuestos e investigación científica, ya que ahora era necesario hacerlo exactamente igual, en repetidas ocasiones y en diversos lugares.

Adicionalmente a lo descrito anteriormente había otro gran obstáculo, existían diversos sistemas, para el mismo propósito que habían sido establecidos en diversas partes del mundo, incluyendo las generadas internamente dentro del propio país.

El desarrollo de la astronomía estableció un papel fundamental en el desarrollo de las mediciones, ya en esos tiempos los científicos de esa época querían conocer el tamaño de la tierra, Aristarco de Samos 281 A.C. utiliza y aplica un ingenioso método geométrico para la determinación de la razón de las distancias del Sol y la Luna. Sin embargo la importancia del trabajo no radica en los valores encontrados si no que nos encontramos por primera vez ante una nueva perspectiva, la cual es provista de dimensiones físicas medibles.



Enfatizando el trabajo de Aristarco, los resultados no dan como resultado kilómetros, metros, millas etc. sino que los resultados son proporcionados en términos de las dimensiones de la tierra (referencia física).

En los tiempos del dominio del imperio romano, se diseminó las medidas de los romanos con sus variantes locales en todos los territorios conquistados en todo Europa, que a su vez estas medidas habían sido adoptadas del sistema griego también con sus propias variantes.

Los romanos tenían en una de sus medidas como base el pie que fue dividido en 12 pulgadas, 1 000 pasos midieron una milla romana que está razonablemente cerca de la milla británica según lo utilizado hoy.

Carlos Magno (742-814) rey de los francos y emperador de Occidente creó un sistema único de medidas en todo su reino.

Al burgomaestre se le concedía la llave de la ciudad, la medida para el vino y la pesa para el pan como símbolo de poder soberano.

En la época feudal, el rey, los nobles y el clero rivalizan para imponer en sus dominios su sistema de pesas y medidas.

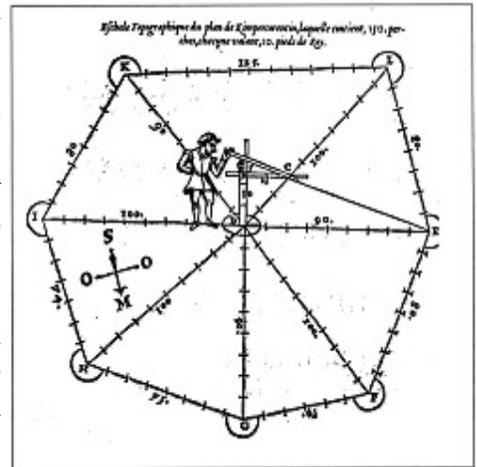
Continuando la historia en Inglaterra, este fue un país invadido por una gran diversidad de personas, las cuales traían consigo sus propias medidas, como fueron los ángulos, la perca, la barra, la braza que tuvo su origen con los daneses (era la distancia entre la yema de los dedos con los brazos extendidos), mientras que el codo era una medida alemana en el paño de lana.

De esta manera tanto Francia como Inglaterra desarrollaron las mediciones por diferentes caminos, pero no muy ajenos a los mismos tipos de problemas, y algo muy común que se puede observar fue el problema de la “referencia” o patrón.

Hacia el año 1300 la realeza británica ordenó asignar que las pesas y medidas tengan una gran lista de definiciones de medición que deberían ser usadas en ese reino. De alguna manera era la tentativa a regularizar o estandarizar el uso de dichas medidas, resultó con tanto éxito que duró aproximadamente por casi 600 años.

Al correr de los años, los problemas no habían disminuido si no al contrario iban en aumento, los científicos de esa época empezaban a preguntarse ¿Cómo idear un sistema de medidas universal? ¿qué hacía falta definir?, por ejemplo, una unidad de distancia que no dependiera de cosas tan variables y fortuitas como el tamaño del pulgar del que mide, o del pie del rey en turno.

A los problemas anteriores se agregaba el problema de la racionalización, en 1585 en su libro “el décimo” Simon Stevin sugiere que una sistema decimal sea utilizado para los pesos y las medidas, invención, y las divisiones del grado del arco.



En 1670 Gabriel Mouton — párroco de la iglesia de San Pablo, en la ciudad francesa de Lyon — tuvo la ocurrencia de definir una unidad de distancia basada en las dimensiones de la Tierra. También tuvo la ocurrencia de que las unidades fraccionarias no fueran como las de otros sistemas (en que 12 pulgadas hacen un pie y 3 pies hacen una yarda, por ejemplo), sino decimales: que fueran divisiones entre 10 unas de otras.

Otros propusieron que la unidad de distancia fuera la longitud de un péndulo que va y viene en un segundo. La idea era buena, pero no tanto: el movimiento del péndulo se altera con la intensidad de la gravedad y ésta varía de un lugar a otro. El cambio es muy pequeño, pero ya se podía detectar en el siglo XVII.

El punto culminante de la prepotencia y de tantas injusticias en la vida social de un pueblo había tocado fondo, es año de 1789 en Francia, la revolución daba inicio, un pueblo que exigía a su soberano que impusiera su autoridad para tener un solo rey, una sola ley y una sola medida.

Referente a las medida existentes en Francia, la siguiente frase descrita por Arthur Young da el contexto de la problemática que se vivió “*En Francia la perplejidad infinita de las medidas excede toda la comprensión. Diferencian no solamente en cada provincia, para cada distrito y casi cada ciudad.*” De hecho se ha estimado que Francia tenía cerca de 800 diversos nombres para las medidas en este tiempo, y considerando sus diversos valores en diversas ciudades, alrededor 250 000 clasificaciones en total para diferentes unidades.

“Una sola  
Medida”

Es 1790, la Asamblea Nacional Francesa encargó a la Academia de ciencias diseñar un sistema de unidades decimal simple. "deduce un estándar invariable para todas las medidas y todos los pesos."

En el mismo año Thomas Jefferson propuso un sistema decimal basado en la medida para los Estados Unidos. Del cual se deriva la primera modernidad decimal del mundo (el dólar de Estados Unidos, el cual consiste en 100 centavos).

La Comisión designada por la academia creó un sistema que era, simple y científico. La unidad de la longitud era una porción de la circunferencia de la tierra. Las medidas para la capacidad (volumen) y la masa debían ser derivadas de la unidad de la longitud, así relacionando las unidades básicas del sistema el uno al otro y a la naturaleza.



De otra manera los más grandes y más pequeños de cada unidad eran creados multiplicando o dividiendo las unidades básicas por 10. Esta característica proporcionó una gran conveniencia a los usuarios del sistema, eliminando la necesidad de los cálculos tales como dividiéndose por 16 (convertir libras a onzas) o multiplicar por 12 (convertir pies a pulgadas). Los cálculos similares en la sistema métrico podían ser realizados simplemente cambiando de puesto la coma así, de esta forma queda establecido el sistema métrico es un "base-10" o sistema "decimal".

"...nada más grande ni más sublime ha salido de las manos del hombre que el Sistema Métrico Decimal"

Henry Antonie de Lavoisier

La Comisión asignó el metro conocido - metro - a la unidad de la longitud. Este nombre fue derivado del metron griego que significa "una medida." El estándar físico que representaba el metro debía ser construido de modo que igualara la diezmilésima parte del cuadrante del meridiano terrestre.

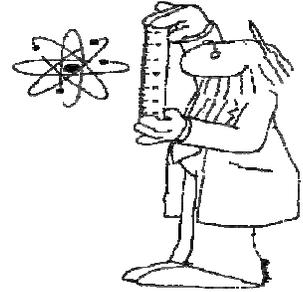
La unidad métrica inicial de la masa, el "gramo", fue definido como la masa de un centímetro cúbico (un cubo que es 0,01 metro en cada lado) de agua en su temperatura de la densidad máxima. El decímetro cúbico (un cubo 0,1 metro en cada lado) fue elegido como la unidad para la capacidad. La medida fluida del volumen para el decímetro cúbico fue dada el "litro conocido".

Cumplir la meta propuesta por la comisión no resultó fácil, Henry Antonie de Lavoisier estaba pagando con su vida el encargo de recaudador de impuestos que le había otorgado la realeza, al hacer referencia a la unificación de las unidades y sin presagiar su final había escrito "...nada más grande ni más sublime ha salido de las manos del hombre que el Sistema Métrico Decimal".

El proceso culminó en la proclamación el 22 de junio de 1799 del sistema métrico con la entrega a los Archivos de la República de los patrones del metro y el kilogramo, confeccionados en aleación de platino, presenciados por funcionarios del gobierno francés y de varios países invitados y muchos de los más renombrados sabios de la época.

Pese a la adopción oficial del sistema métrico, ni siquiera los franceses lo usaron en seguida. Napoleón tuvo que permitir que se siguiera usando el viejo sistema medieval de medidas y no fue hasta 1840 cuando el sistema métrico decimal se convirtió en el único legal en Francia. Aunque el sistema métrico no fue aceptado con entusiasmo al principio, la adopción por otras naciones ocurrió constantemente después de que Francia lo hizo obligatorio.

Para las mismas fechas Gauss promovió fuertemente el uso de esta sistema métrico, junto con el segundo definido en astronomía, como sistema de las unidades coherente para las ciencias físicas. Gauss era el primero en hacer medidas *absolutas* de la fuerza magnética de la tierra en términos de una sistema decimal basada en *las tres unidades mecánicas* milímetro, gramo y segundo para respectivamente, las cantidades longitud, masa y tiempo y en conjunto con Weber ampliaron estas medidas para incluir fenómenos eléctricos.



El sistema se derivaba de las propiedades de objetos de la naturaleza, concretamente, el tamaño de la tierra y el peso del agua y en relaciones sencillas entre una unidad y la otra. Posteriores mejoras en la medición tanto del tamaño de la tierra como de las propiedades del agua resultaron en discrepancias con los patrones.

La Revolución Industrial estaba ya en camino y la normalización de las piezas mecánicas, fundamentalmente tornillos y tuercas, era de la mayor importancia y estos dependían de mediciones precisas. Se empieza a generar el caos científico, a pesar de que las discrepancias que se encontraron habrían quedado totalmente enmascaradas en las tolerancias de fabricación de la época, cambiar los patrones de medida para ajustarse a las nuevas mediciones hubiera sido impráctico particularmente cuando nuevos y mejores instrumentos acabarían encontrando nuevos valores cada vez más precisos.

Los científicos han desarrollado y adoptado al sistema métrico para simplificar sus cálculos y para promover la comunicación a través de límites nacionales.

Sin embargo... La observación de un fenómeno es en general incompleta, a menos que dé lugar a una información cuantitativa. Para obtener dicha información, se requiere la medición de una propiedad física. Así, la medición constituye una buena parte de la rutina diaria del físico experimental.

La medición es la técnica por medio de la cual asignamos un número a una propiedad física, como resultado de una comparación de dicha propiedad con otra similar tomada como patrón, la cual se ha adoptado como unidad.

“El Hombre es la  
Medida de Todas  
Las Cosas”

Protagoras  
(Filósofo Griego  
485-411 A.C.)

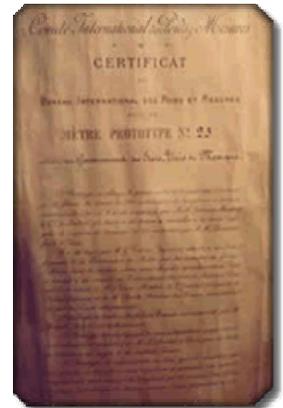
En el 1860, Gran Bretaña, los Estados Unidos y los estados alemanes hicieron movimientos para adoptar el sistema métrico. Llegó a ser legal en Gran Bretaña en 1864 por una ley que fue aprobada por la Cámara de los Comunes para requerir su uso a través del imperio británico, la cual nunca se hizo obligatorio.

En ese mismo año la electricidad y del magnetismo fueron desarrollados más a fondo bajo dirección activa del Maxwell y de Thompson, con la asociación británica para el adelanto de la ciencia (BAAS). Formularon el requisito para un sistema de unidades coherente con las unidades base y que a su vez derivaron unidades.

Al igual que en la Gran Bretaña, en los Estados Unidos el Sistema Métrico llegó a ser legal en 1866 aunque su uso no fue hecho obligatorio, los estados alemanes aprobaron la legislación en 1868, haciendo uso del sistema métrico que fue hecho obligatorio.

En 1874 BAAS introdujo *el sistema de CGS*, un sistema coherente tridimensional de la unidad basado en las tres unidades mecánicas **centímetro, gramo** y el **segundo**, con los prefijos que se extienden de micro a mega para expresar submúltiplos y múltiplos decimales. El desarrollo siguiente de la física como ciencia experimental fue basado en gran parte en este sistema.

En 1875, Francia dio a conocer oficialmente al mundo del Sistema Métrico Decimal con la celebración de la convención del Metro. Los países adherentes que firmaban el Tratado, se comprometían a sostener a gastos comunes, la estructura científica, técnica y administrativa que implicaba el establecimiento, el mejoramiento y la difusión de las unidades de este Sistema. Dentro de la convención del metro, se creó la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM), y la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM).



El sistema métrico se diseñó teniendo en cuenta varios objetivos:

- Neutral y universal, los diseñadores del sistema métrico querían que fuera lo más neutral posible para facilitar su más amplia adopción.
- Cualquier laboratorio debía poder reproducirlas, en todos los países habrían de referir sus patrones al patrón del país que tuviera los originales.
- Múltiplos decimales, todos los múltiplos y submúltiplos de las unidades bases serían en base a potencias decimales.
- Prefijos comunes, todas las unidades derivadas habrían de usar un mismo conjunto de prefijos para indicar cada múltiplo. Por ejemplo, *kilo* se usaría tanto para múltiplos de peso (kilogramo) como de longitud (kilómetro) en ambos casos indicando 1000 unidades base.
- Práctica, Las nuevas unidades deberían ser cercanas a valores de uso corriente en aquel entonces.

CGS,  
MKS, MKSA y  
MTS

Fueron sistemas  
con sus propias  
formas métricas

Los tamaños de las unidades coherentes de CGS en los campos de la electricidad y del magnetismo, demostraron ser incómodos así pues, en el 1880, BAAS y el congreso eléctrico internacional, precursor de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), aprobó un sistema mutuamente coherente *de unidades prácticas*. Entre ellas estaban el ohm para la resistencia eléctrica, volt para la fuerza electromotriz, y el amper para la intensidad de corriente eléctrica.

Las unidades MKS que representan **metro, kilogramo y el segundo** fueron utilizados más y más en transacciones comerciales, la ingeniería, y otras áreas prácticas. Se empezaba un cierto malestar entre los usuarios de unidades métricas, porque la necesidad de traducir entre las unidades de CGS y de MKS fue contra el ideal métrico de un sistema que medía universal.

Después del establecimiento de la convención del metro el CIPM se concentró en la construcción de los nuevos prototipos que tomaban el metro y el kilogramo como las unidades base de la longitud y de la masa. En 1889 la 1a CGPM sancionó los prototipos internacionales para el metro y el kilogramo. Junto con el segundo astronómico como unidad del tiempo, estas unidades constituyeron un sistema mecánico tridimensional de la unidad similar al sistema de CGS, pero con las unidades base metro, kilogramo.



"La batalla más grande que la ciencia ha librado a través del siglo XVIII, ha sido haber vencido a la naturaleza, tomándole el Sistema de Pesas y Medidas"

Napoleón Bonaparte

En 1893 Estos prototipos métricos eran "estándares fundamentales declarados de la longitud y de la masa", desde esa fecha, la yarda, la libra, etc. se han definido oficialmente en términos de la sistema métrico.

En 1901 el físico Italiano Giovanni Giorgi demostró que es posible combinar las unidades mecánicas de este metro-kilogramo-segundo sistema con las unidades eléctricas prácticas para formar un solo sistema coherente agregando a las tres unidades base, una cuarta unidad base de una naturaleza eléctrica, tal como el amper o el ohm, y reescribiendo las ecuaciones que ocurrían en electromagnetismo en la forma racionalizada supuesta. La oferta de Giorgi abrió la trayectoria de un número de nuevos progresos.

Después de la revisión de la convención del metro por el 6° CGPM en 1921, que prolongó el alcance y las responsabilidades del BIPM a otros campos en la física, y la creación subsecuente del CCE (Comité Consultivo Eléctrica), (ahora CCEM (Comité Consultivo Electricidad y Magnetismo)) por el 7° CGPM en 1927, la oferta de Giorgi fue discutida a fondo por el IEC y el IUPAP (International Union of Pure and Applied Physics) y otras organizaciones internacionales. Esto condujo el CCE para recomendar, en 1939, la adopción de un sistema basado en el metro, el kilogramo, el segundo y el amper, una oferta aprobada por el CIPM en 1946.

Después de una investigación internacional por el BIPM, que comenzó en 1948, el 10° CGPM, en 1954, aprobó la introducción *del amper, del kelvin y de la candela* como unidades base, respectivamente, para la intensidad de corriente eléctrica, temperatura termodinámica e intensidad luminosa.

El sistema métrico fue oficialmente denominado Sistema Internacional de Unidades (S) por la 11ª CGPM en 1960. En ese mismo año se realizó la cuarta definición del metro que estaba en función de radiación del Kriptón 86.

### Inicia una nueva etapa, las computadoras y la exploración espacial

Las enmiendas de la educación de 1974 efectuadas en Estados Unidos (el derecho público 92-380) establecieron a las agencias y a instituciones educativas que prepararan a estudiantes para utilizar el sistema métrico de medida como parte del programa educativo regular.

En 1983, en la 17ª Convención General de Pesas y Medidas, se estableció la quinta y actual definición del metro en función de la velocidad de la luz.

En 1994, el acto de empaquetado y de etiquetado (FPLA) fue enmendado por la Administración de Alimentos y Drogas (FDA) para requerir el uso de unidades dobles (libra-pulgada y métrico) en todos los productos de consumo norteamericano.

1996, las cuatro **bolsas de acciones canadienses** comenzaron a negociar el decimal, los primeros intercambios de forma norteamericana para abandonar el viejo "pedazo-ocho u octavos" de sistema que negociaba y para dar la bienvenida al nuevo sistema decimal. La vieja tradición de la acción que se negocia en incrementos de un-octavo de un dólar, o 12,5 centavos.

En el mismo año todas las observaciones de la temperatura superficial en informes nacionales del servicio METAR /TAF del tiempo ahora se transmiten en grados Celsius. Es importante destacar que la resolución de cambiar de grado centígrado a grado Celsius fue emitida en 1948.

1999 La sonda espacial *Mars Climate*, enviada por la NASA para mantenerse en órbita marciana y estudiar el clima del planeta, se estrelló en Marte y quedó completamente destruida. Según fuentes de la NASA el desastre fue debido a un error en la conversión al *Sistema Internacional* de unidades de los datos que se habían suministrado al ordenador de abordo.



¿Por qué ha ocurrido el desastre? Según los datos que ha proporcionado la NASA, en la construcción, programación de los sistemas de navegación y lanzamiento de la sonda espacial participaron varias empresas. En concreto la *Lockheed Martin Astronautics* de Denver fue la encargada de diseñar y construir la sonda espacial, mientras que la *Jet Propulsion Laboratory* de Pasadena fue la encargada de programar los sistemas de navegación de la sonda. Pero resulta que los dos laboratorios no trabajan de la misma manera, el primero de ellos realiza sus medidas y proporciona sus datos con el sistema anglosajón de unidades (pies, millas, libras, ...) mientras que el segundo utiliza el *Sistema Internacional* de unidades (metros, kilómetros, kilogramos, ...). Así parece que el primero de ellos realizó los cálculos correctamente utilizando el sistema anglosajón y los envió al segundo, pero los datos que proporcionó iban sin especificar las unidades de medida utilizadas. El costo del error, 125 millones de dólares.

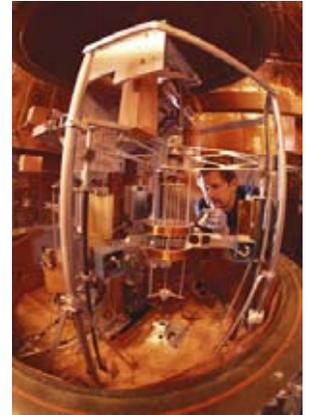
"Uno no advierte jamás lo que está hecho, sólo puede ver lo que falta por hacer"

Marie Curie

A principios del año del 2005, los límites de velocidad en Irlanda fueron convertidos de millas por hora a kilómetros por hora (km/h).

### Plazos métricos futuros

200? Redefinición del kilogramo, los científicos alrededor del mundo han pasado los años realizando experimentos para encontrar una definición confiable basada en la naturaleza para sustituir el patrón internacional actual del kilogramo (única unidad base, referida a un artefacto), octubre 2005 el NIST mejora la exactitud de “Balanza de Watt” un método para definir el kilogramo, para su aprobación se requiere sea aceptada por un grupo internacional, el comité internacional de pesos y medidas, CIPM, y ratificada por una conferencia general de pesos y medidas (CGPM). El retraso actual para su redefinición se debe a que los grupos de científicos del mundo deben de confirmar los nuevos resultados del NIST.



Para el término del año 2009 todos los productos vendidos en Europa (con excepciones limitadas) serán requeridos para tener solamente unidades métricas en sus etiquetas. el etiquetado dual no será permitido.

“No hay nada  
hecho por la mano  
del hombre,  
que tarde o tem-  
prano el tiempo no  
destruya”

Cicerón

### REFERENCIAS

- CENAM. (2003). El Sistema Internacional de Unidades (SI). Publicación técnica CNM-  
MMM-PT-0. CENAM, Centro Nacional de Metrología, División Metrología de  
Masa.
- ISO 17000. (2004). International standard: Conformity assessment –Vocabulary and  
general principles. ISO, International Organization for Standardization.
- Lloyd, Robin. (1999). Metric Mishap Caused Loss of NASA Orbiter. Fecha de revisión:  
1999-09-30. CNN en: [www.cnn.com/TECH/space/9909/30/mars.metric.02/](http://www.cnn.com/TECH/space/9909/30/mars.metric.02/)
- MetAs. (2005). Curso: Gestión Metrológica. MetAs & Metrólogos Asociados. Agosto.  
Guadalajara, Jalisco.
- NIST SP 304A. (1974). The Metric System. NBS Special Publication; 304A, NIST U.S.  
Institute Of Standards And Technology, Department of Commerce.
- Ordóñez, Javier. (2003), Ciencia, Tecnología e Historia. Fondo de Cultura Económica de  
España.
- Steiner, R. Williams, E.R. Newell, D.B. and Liu, R. (2005). “Towards an electronic kilo-  
gram: an improved measurement of the Planck constant and electron mass.”  
*Metrologia*. 42 431-441. Published online