COMPOSICIÓN INSECTICIDA QUE COMPRENDE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO, AZUFRE, GLICOL Y SOLVENTE ORGÁNICO

REIVINDICACIONES

1. Un insecticida base solvente orgánico **caracterizado porque** comprende:

- 0,5 a 5 % de ácido acetilsalicílico;
- 0,5 a 5 % de azufre;
- 0,5 a 5 % de un glicol seleccionado entre etilenglicol, propilenglicol, dietilenglicol o sus mezclas; y
- 85 a 98,5 % de un solvente orgánico seleccionado de aceite vegetal tomado de soja, palma, ricino, girasol, olivo, sésamo, linaza, canola, cacahuate y sus mezclas; cera de petróleo; o alcohol graso tomado de alcoholes primarios de cadena lineal desde 4 a 26 átomos de carbono y aceites naturales.

donde los porcentajes están expresados en masa.

2. El insecticida base solvente orgánico de la reivindicación 1 **caracterizado porque** el insecticida comprende 0,5 a 4 % de ácido acetilsalicílico, 0,5 a 4 % de azufre, 0,5 a 4 % de glicol y 88 a 98,5 % de un solvente orgánico. Donde los porcentajes están expresados en masa.

3. Un insecticida base agua **caracterizado porque** comprende:

- 0,03 a 1% de ácido acetilsalicílico;
- 0,003 a 1 % de azufre;
- 0,03 a 1 % de un glicol seleccionado entre etilenglicol, propilenglicol, dietilenglicol o sus mezclas;
- 0,5 a 1,5 % de un tensoactivo seleccionado entre un tensoactivo iónico tomado de detergentes sulfunados y sulfúricos derivados de etileno, grasas y aceites vegetales de cadenas no ramificadas; los detergentes derivados de sulfonatos; o un tensoactivo no iónico tomado de alquilfenoles derivados del octil, nonil y dodecil fenol y los derivados de ácidos grasos.
- Agua hasta completar el 100%

donde los porcentajes están expresados en masa.

4. El insecticida base agua de la reivindicación 3 **caracterizado porque** el insecticida comprende 0,03 a 0,06 % de ácido acetilsalicílico; 0,003 a 0,06 % de azufre; 0,03 a 0,06 % de propilenglicol; 0,5 a 1,5 % del tensoactivo y 98 a 99,5 % de agua. Donde los porcentajes están expresados en masa.

5. Una crema insecticida base orgánica **caracterizada porque** comprende:

- 2 a 3 % de ácido acetilsalicílico;
- 2 a 3 % de azufre;
- 50 a 60 % de cera de petróleo seleccionada entre una mezcla homogénea de hidrocarburos saturados de cadena larga (más de 25 carbonos), parafina, cera de turba o una cera mineral; y
- 30 a 50 % de un solvente orgánico seleccionado de aceite vegetal tomado de soja, palma, ricino, girasol, olivo, sésamo, linaza, canola, cacahuate y sus mezclas; cera de petróleo; o alcohol graso tomado de alcoholes primarios de cadena lineal desde 4 a 26 átomos de carbono y aceites naturales.
- donde los porcentajes están expresados en masa.

6. La crema insecticida base orgánica de la reivindicación 5 **caracterizada porque** comprende 1 a 8 % de óxido de zinc y 1 a 3 % de ácido benzoico; donde los porcentajes están expresados en masa.

7. Un proceso para la obtención de un insecticida base solvente orgánico **caracterizado porque** comprende las siguientes etapas:

(a) Macerar o triturar ácido acetilsalicílico separando la fracción que pasa malla 400;
(b) Macerar o triturar azufre separando la fracción que pasa malla 400;
(c) Mezclar las dos anteriores fracciones en relaciones másicas entre 1:4 y 4:1;
(d) Adicionar la anterior mezcla a una cantidad de solvente orgánico seleccionado de aceite vegetal tomado de soja, palma, ricino, girasol, olivo, sésamo, linaza, canola, cacahuate y sus mezclas; cera de petróleo; o alcohol graso tomado de alcoholes primarios de cadena lineal desde 4 a 26 átomos de carbono y aceites naturales en relaciones másicas mezcla:solvente entre 4:5 y 1:8;
(e) Agitar la mezcla de la etapa (d) a velocidades entre 100 y 600 r.p.m. hasta homogeneización;
(f) Adicionar un glicol seleccionado entre etilenglicol, propilenglicol, dietilenglicol o sus mezclas a la mezcla obtenida en la etapa (e) en relaciones másicas glicol:mezcla entre 1:8 y 1:1;
(g) Agitar la mezcla de la etapa (f) a velocidades entre 100 y 400 r.p.m. hasta homogeneización; y

(h) Dejar en reposo y envasar.

8. El proceso para la obtención de un insecticida base solvente orgánico de la reivindicación 7 **caracterizado porque** el insecticida obtenido en la etapa (h) se disuelve en un solvente orgánico, el cual puede ser seleccionado de aceite vegetal tomado de soja, palma, ricino, girasol, olivo, sésamo, linaza, canola, cacahuate y sus mezclas; cera de petróleo; o alcohol graso tomado de alcoholes primarios de cadena lineal desde 4 a 26 átomos de carbono y aceites naturales, en relaciones másicas insecticida:solvente entre 1:65 a 1:7.

9. Un proceso para la obtención de un insecticida base agua **caracterizado porque** comprende las siguientes etapas:

(a) Macerar o triturar ácido acetilsalicílico separando la fracción que pasa malla 400;
(b) Macerar o triturar azufre separando la fracción que pasa malla 400;
(c) Mezclar las dos anteriores fracciones en relaciones másicas ácido acetilsalicílico: azufre entre 1:2 y 20:1;
(d) Adicionar la anterior mezcla a una cantidad de un glicol seleccionado entre etilenglicol, propilenglicol, dietilenglicol o sus mezclas, en relaciones másicas mezcla:glicol entre 1:2 y 4:1;
(e) Agitar la mezcla de la etapa (d) a velocidades entre 100 y 600 r.p.m. hasta homogeneización;
(f) Adicionar un tensoactivo seleccionado entre un tensoactivo iónico tomado de detergentes sulfunados y sulfúricos derivados de etileno, grasas y aceites vegetales de cadenas no ramificadas; los detergentes derivados de sulfonatos; o un tensoactivo no iónico tomado de alquilfenoles derivados del octil, nonil y dodecil fenol y los derivados de ácidos grasos, en agua a la anterior mezcla en relaciones másicas tensoactivo:mezcla entre 2:3 y 3:1;
(g) Agitar la mezcla de la etapa (f) a velocidades entre 100 y 400 r.p.m. hasta homogeneización;
(h) disuelver en agua en relaciones másicas insecticida:agua entre 1:200 y 1:50;
(i) calientar a temperaturas comprendidas entre 40 y 50 °C;
(j) Dejar en reposo y envasar.

10. Un proceso para la obtención de una crema insecticida base orgánica **caracterizado porque** comprende las siguientes etapas:

(a) Macerar o triturar ácido acetilsalicílico separando la fracción que pasa malla 400;
(b) Macerar o triturar azufre separando la fracción que pasa malla 400;
(c) Mezclar las dos anteriores fracciones en relaciones másicas entre 2:3 y 3:2;

(d) Adicionar la anterior mezcla a una cantidad de cera de petróleo seleccionada entre una mezcla homogénea de hidrocarburos saturados de cadena larga (más de 25 carbonos), parafina, cera de turba o una cera mineral, en relaciones másicas mezcla:cera entre 1:15 y 1:8;

(e) Agitar la mezcla de la etapa (d) a velocidades entre 100 y 600 r.p.m. hasta homogeneización;

(f) Adicionar la mezcla obtenida en la etapa (e) a un solvente orgánico seleccionado de aceite vegetal tomado de soja, palma, ricino, girasol, olivo, sésamo, linaza, canola, cacahuate y sus mezclas; cera de petróleo; o alcohol graso tomado de alcoholes primarios de cadena lineal desde 4 a 26 átomos de carbono y aceites naturales, a en relaciones másicas mezcla: solvente entre 1:1 y 2:1;

(g) Agitar la mezcla de la etapa (f) a velocidades entre 100 y 400 r.p.m. hasta homogeneización; y

(h) Dejar en reposo y envasar.

TM TAMAYO
ROYALTIES · PATENTS · TRADEMARKS

Señor
JEFE DIVISIÓN DE NUEVAS CREACIONES
SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
E. S. D.

Expediente (Año-Expediente)	: **2017-NC2017/0011974**
Respuesta Oficio	: **1983**
Nuestra Ref.	: **1073-P**
Actuación	: RESPUESTA EXAMEN DE FONDO (ART 45 D486)

MILENA MEJIA OSORIO, con domicilio en esta ciudad, con identificación CC 42.150.298 y TP 196.033, abogado titulado en ejercicio, obrando en calidad de apoderado del solicitante NEVER + SAS según poder anexo al trámite administrativo de la referencia.

Encontrándome dentro del término legal comparezco para responder el oficio de Requerimiento del Examen de patentabilidad del expediente del asunto emanado de esa Oficina, con fundamento en el Artículo 45 de la Decisión 486 de 2.000 de C.A.N, en los siguientes términos:

1. De la solicitud de patente

1.1. Título

El examinador objeta el título de la solicitud, argumentando que el mismo no refleja el objeto y el campo industrial al cual se relaciona la solicitud. Con el fin de subsanar esta objeción, el solicitante presenta el siguiente título:

TM TAMAYO
ROYALTIES · PATENTS · TRADEMARKS

"COMPOSICIÓN INSECTICIDA QUE COMPRENDE ÁCIDO ACETILSALICÍLICO, AZUFRE, GLICOL Y SOLVENTE ORGÁNICO"

1.2. Reivindicaciones

- El examinador argumenta que "*El capítulo reivindicatorio no se encuentra debidamente soportado en la descripción puesto que no se muestran realizaciones preferidas donde se enseñen métodos de obtención y composiciones insecticidas puntuales*". Al respecto, el solicitante quisiera observar que la descripción sustenta adecuadamente las reivindicaciones, puesto todas y cada una de las características reclamadas se encuentran debidamente descritas. El solicitante no está obligado a proporcionar la composición exacta de su formulación, al punto que es práctica regular en todas las solicitudes de patente relacionadas con composiciones químicas el definir el objeto y el alcance de la solicitud mediante rangos y no mediante valores puntuales.

  Por otro lado, el solicitante considera que las características técnicas esenciales de su invención están debidamente definidas, ya que estas características técnicas corresponden a los componentes de la formulación y los rangos de valores de las cantidades de los mismos presentes en la formulación. El técnico medio con habilidad ordinaria en la materia puede replicar el objeto de la invención partiendo de esta información, y obtener las cantidades óptimas de cada uno de los componentes mediante ensayos de rutina.

Adicionalmente, el solicitante llama la atención de ese Despacho al hecho que en el ejemplo 2 se da una composición puntual del insecticida de acuerdo con la presente solicitud; dicha información, junto con los datos de eficacia que la acompañan son suficientes para que el técnico medio con habilidad ordinaria en la materia pueda darse una idea de las cantidades puntuales aproximadas de cada uno de los componentes que permiten obtener una composición con el grado de eficacia deseado.

- El examinador establece que las reivindicaciones dependientes 2, 4 no son claras porque las concentraciones que se reclaman de los compuestos se encuentran fuera del rango de las concentraciones reclamadas en las respectivas reivindicaciones independientes 1, 3. Por lo tanto no hay coherencia entre las reivindicaciones dependientes 2, 4, y las reivindicaciones independientes 1, 3. Se sugiere hacer la corrección necesaria.

  Con el fin de subsanar esta objeción, el solicitante presenta un nuevo capítulo reivindicatorio, en el cual se corrigen las reivindicaciones 1 y 3 con el fin de ajustar los rangos de valores para incluir las formulaciones de las reivindicaciones 2 y 4. El sustento para esta modificación se encuentra en las reivindicaciones 2 y 4 del capítulo reivindicatorio como fue presentado originalmente.

- El examinador establece que la reivindicación 6 menciona componentes adicionales en la composición, que de ser fundamentales para la composición deben mencionarse en la reivindicación 5 que es la independiente y contiene todas las características de la invención.

Al respecto, el solicitante aclara que los compuestos reclamados en la reivindicación 6 no son fundamentales para la composición, por lo que no es necesario incorporarlos en la reivindicación 5, de la que depende.

- Por último, el examinador objeta las reivindicaciones 1, 3, 5, 7 - 10, argumentando que las mismas no son concisas, ya que los términos: "*aceite vegetal", "aceite mineral", "alcohol graso", "tensoactivo iónico", "tensoactivo no iónico", "mezcla homogénea de hidrocarburos saturados de cadena larga (más de 25 carbonos)", "parafina", "cera de turba", "cera mineral";* no indican un compuesto específico por su nombre químico o fórmula, sino por la función o actividad que desempeñan, lo que hace que se obtengan un número indefinido de unidades que no encuentran soporte en la descripción.

  Con el fin de subsanar esta objeción, el solicitante el solicitante presenta un nuevo capítulo reivindicatorio, el cual ha sido corregido para reemplazar algunos de los compuestos objetados por sus nombres químicos adecuados. Sin embargo, no es posible reemplazar todos los compuestos ya que esto implicaría una extensión de la materia divulgada originalmente. Sin embargo, el solicitante quisiera llamar la atención del examinador al hecho que algunas expresiones, tales como, por ejemplo, "*aceite mineral*", "*parafina*", "*cera de turba*" y/o "*cera mineral*" son ampliamente conocidos por el técnico con habilidad ordinaria en la materia y corresponden los nombres de los compuestos y no, como parece interpretarlo el examinador, a una función o actividad que desempeñan.

1.3. Descripción

- El examinador objeta la descripción por emplear las unidades de Ha para referirse a áreas, requiriendo al solicitante que las sustituya por la unidad de m^2, establecida

por el Sistema Internacional de Medidas. Al respecto, el solicitante refiere al examinador a la página 35 del documento adjunto como Anexo A, en el cual se establece, en la tabla 6, que la hectárea (ha) es una unidad aceptada para su uso dentro del SI (1 ha = 1 hm^2 = 10^4 m^2), aun cuando no pertenece al SI. Por lo tanto, el solicitante no considera necesario hacer la sustitución requerida por el examinador.

- El examinador objeta la descripción, argumentando que "*… no divulga la invención de manera suficientemente completa para que una persona normalmente versada en la materia pueda ejecutarla, puesto que no se presenta un ejemplo de la mejor manera de llevar a cabo la invención*".

  Al respecto, el solicitante llama la atención del examinador al ejemplo 2 de la descripción, en el cual es posible encontrar un ejemplo puntual de una composición de acuerdo con el objeto de la solicitud. Este ejemplo, sumado a la descripción de los diferentes métodos para elaborar formulaciones de acuerdo con el objeto de la invención, le dan a al técnico con habilidad en la materia suficiente información como para que pueda ejecutarla a cabalidad.

2. Determinación del estado de la técnica.

2.1. Falta de nivel inventivo.

El examinador objeta el nivel inventivo de la solicitud, argumentando que el documento KR 20030083660 (en adelante D1) se considera el estado de la técnica más cercano a la invención definida en la reivindicación 1 porque divulga una composición insecticida que mejora la piel, pelo o plumas de animales y aves; que puede estar en forma de líquido, polvo, aerosol, no aerosol, pomada, crema, loción y similares; que

comprende: 5 a 20% ácido acetilsalicílico, 2% propilenglicol, y 3% aceites vegetales (Pág. 7; Tabla 2).

El examinador prosigue declarando que la diferencia entre la invención definida en la reivindicación 1 y la composición divulgada en D1 consiste en emplear azufre y en la concentración del glicol y el solvente orgánico. Afirma el examinador que no hay un efecto asociado con incluir azufre y en variar la concentración de glicol y el solvente orgánico en la composición. Por lo tanto, el problema técnico objetivo que pretende resolver esta invención se puede formular así: ¿Cómo modificar la composición conocida en D1 con el fin de obtener una composición insecticida alternativa?

Sin embargo, el incluir azufre en composiciones insecticidas, ya está divulgado en el documento D2 que se refiere a una composición para tratar distintos organismos nocivos presentes en la piel de los animales, entre ellos garrapatas, que comprende: 5 a 6% de ácido acetilsalicílico, y 10 a 11% de azufre (Pág. 3. Col. 1). Es importante resaltar que, si bien las concentraciones del glicol y el solvente no son las reclamadas en la presente solicitud, modificar sus concentraciones corresponde a una variación de rutina que realiza sin mucho esfuerzo la persona del oficio normalmente versada en la materia, teniendo en cuenta que estos componentes son excipientes que en sí mismos no presentan un efecto inhibitorio, pero en las condiciones adecuadas pueden incrementar hasta 10 veces la actividad biocida; por lo tanto, variar las concentraciones de los excipientes corresponde a una optimización de la composición insecticida que no otorga un efecto inesperado.

Al respecto, en primer lugar, el solicitante llama la atención al hecho que el documento D1 enseña composición que contienen de 10% a 100% de ácido acetilsalicílico, en tanto que

el documento D2 enseña composiciones que contienen entre 5% y 6% de ácido acetilsalicílico. Un técnico con habilidad en la materia no encontraría en ninguno de dichos documentos motivación alguna para reducir el contenido de ácido acetilsalicílico más abajo del 5%, ya que ninguno de los documentos citados por el examinador contiene resultados técnicos que demuestren la eficacia de formulaciones insecticidas por debajo de este valor.

De hecho, el documento D21 es el único que comprende pruebas de efectividad para las diferentes formulaciones, las cuales se presentan en la tabla 3 para perros y permiten apreciar que la eficacia del medicamento contra las pulgas aumenta con la concentración del ácido acetilsalicílico. La misma conclusión se puede sacar de los resultados mostrados en las tablas 5 y 6. Por lo tanto, las enseñanzas del documento D1 alejan al técnico medio de composiciones insecticidas que contienen ácido acetilsalicílico en cantidades muy bajas.

Por su parte, el documento D2 se relaciona con un método para mejorar la efectividad e una formulación conocida para el tratamiento de la sarna (ácaros) a base de azufre. El inventor del documento D2 encontró que agregando entre 5% y 6% de ácido acetilsalicílico a la formulación conocida se lograba mejorar su desempeño.

Ahora bien, respecto al argumento del examinador que "… *la persona normalmente versada en la materia, estaría motivada a incluir el azufre del documento D2 en la composición de D1…*", para el solicitante no es claro qué motivaría a dicho técnico a hacer tal modificación al objeto de D1, cuando la tabla 6 de dicho documento demuestra que las formulaciones allí divulgadas son efectivas contra los ácaros. Si a esto le sumamos el hecho que D2 enseña que el ácido acetilsalicílico potencializa el efecto del azufre sobre

los ácaros, no al revés, la única conclusión a la que se puede llegar es que el análisis del examinador es claramente retrospectivo e interpretativo.

El carácter interpretativo del análisis del examinador se puede apreciar cuando establece que "*… se resalta que el documento D2 enseña la desventaja de emplear elevadas concentraciones de azufre, ya que al interactuar con los álcalis, forma el anhídrido sulfuroso, que tiene un efecto irritante, por lo que es ideal emplear bajas concentraciones (Pág. 3, Col. 1); de tal forma que la persona normalmente versada en la materia se vería motivada a ensayar menores concentraciones de S que las enseñadas en D2.*" Los álcalis a los que se refiere D2 son el óxido de cinc y el óxido de magnesio, compuestos que, valga la aclaración, no se encuentran presentes en ninguna de las formulaciones divulgadas o reclamadas en D1, por lo que el técnico medio que quisiera incorporarle azufre a las formulaciones de D1 no tendría ningún motivo para emplear menores cantidades de azufre a las divulgadas en D2, más aún a sabiendas que el ácido acetilsalicílico potencializa la actividad acaricida del azufre y no guarda ninguna relación con la formación de anhidro sulfuroso.

Por otra parte, respecto a la afirmación del examinador de que "*… si bien las concentraciones del glicol y el solvente no son las reclamadas en la presente solicitud, modificar sus concentraciones corresponde a una variación de rutina que realiza sin mucho esfuerzo la persona del oficio normalmente versada en la materia, teniendo en cuenta que estos componentes son excipientes que en sí mismos no presentan un efecto inhibitorio, pero en las condiciones adecuadas pueden incrementar hasta 10 veces la actividad biocida*", el solicitante llama la atención de ese Despacho al hecho que el documento citado se refiere **expresamente a la actividad biocida del Rimsulfuron**, que es un herbicida, y en ninguna parte establece que los resultados encontrados para este

producto en particular puedan extrapolarse a cualquier otra formulación, menos aún a formulaciones insecticidas y mucho menos a formulaciones insecticidas que comprenden ácido acetilsalicílico.

Todo lo anterior lleva a solicitante a concluir que el análisis del examinador no solo es retrospectivo, sino que además se limita a tomar elementos del estado del arte comunes a la solicitud, presentando argumentos carentes de sustento técnico para validar sus objeciones esperando confundir al solicitante haciéndole creer que su invención no es más que el resultado de pegar aleatoriamente una serie de componentes sin un motivo lógico.

En conclusión, el solicitante considera que la presente invención es novedosa a inventiva a la luz de las enseñanzas de los documentos D1 y D2, simplemente por el hecho que no existe motivo alguno para que un técnico medio le agregue el azufre de D2 a las composiciones de D1, menos aún para que emplee cantidades significativamente más bajas de ácido acetilsalicílico y azufre que las mencionadas en cualquiera de D1 y D2 y porque los argumentos del examinador son retrospectivos y carecen de sustento técnico o motivación válida que sustente que un técnico medio con habilidad en la materia, al momento en que se desarrolló la invención, tendría alguna razón para llevar a cabo la combinación sugerida por el examinador, particularmente cuando las enseñanzas de dicho documento alejan al técnico de la materia objeto de la presente solicitud.

De acuerdo con las correcciones presentadas y las aclaraciones citadas, la presente solicitud de patente de invención cumple con los requisitos de patentabilidad exigidos en el Art. 14 de la Decisión 486/2000 de la C.A.N, en el sentido de Novedad, Nivel inventivo y Aplicación Industrial, solicito dar por subsanado dicho examen y ordenar lo pertinente con el fin que el expediente en mención siga su curso normal.

TM TAMAYO
ROYALTIES · PATENTS · TRADEMARKS

Por lo antes expuesto, ruego a usted dar por subsanado dicho requerimiento, sin perjuicio de lo cual desde ya nos acogemos a lo dispuesto por el inciso segundo del artículo 45 de la decisión 486 de la Comunidad Andina que a la letra dice: "(…) Cuando la oficina nacional competente estimare que ello es necesario para los fines del examen de patentabilidad, podrá notifica al solicitante dos o más veces (…)" (Subrayado para destacar).

ANEXOS:

- Reivindicaciones corregidas
- ANEXO 1: Sistema Internacional de Unidades

Mi poderdante y yo recibiremos notificaciones en la Secretaría de su Despacho o en la Oficina ubicada en la Carrera 13A No. 28-38 Ofc. 230 MZ. 2 Parque Central Bavaria de la ciudad de Bogotá D.C. o al correo electrónico: tmtamayo@gmail.com.

Del señor Jefe,

MILENA MEJIA OSORIO,
CC 42.150.298 y TP 196.033 del C.S.J.

COLOMBIA:
Carrera 13-A No. 28-38 Bufete 230
Tel (571) 341 9841 / Fax (571) 243 5423
Parque Central Bavaria
Bogotá D.C. / Colombia / Sur América

USA:
COL 12010 TM Tamayo
10000 NW 25 Th St Unit 1 L
33172-2204
MIAMI / FL, U.S.A.

E-mail: consultas@tmtamayo.net
ip@tmtamayo.com

Web: www.tmtamayo.com

m 13

El Sistema Internacional de Unidades

SI

8ª edición 2006

Oficina Internacional
de Pesas y Medidas

Organización
Intergubernamental
de la Convención
del Metro

3ª edición en español
Centro Español de Metrología

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO
CEM CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA

BIPM
METPΩ XPΩ

El Sistema Internacional de Unidades (SI)

3ª edición en español

**Oficina Internacional
de Pesas y Medidas**

El Sistema Internacional de Unidades (SI)

8ª Edición — 3ª edición en español
2006 2013

**Oficina Internacional de Pesas y Medidas
Organización Intergubernamental de la Convención del Metro**

Nota:

Con objeto de lograr la máxima difusión de sus trabajos, el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) publica versiones en francés y en inglés de sus Documentos.

También se han publicado traducciones completas o parciales de este documento (o de ediciones anteriores) en varias lenguas, en particular, búlgaro, chino, checo, alemán, japonés, coreano, portugués, rumano y español. Tanto ISO como numerosos países han publicado también normas y guías sobre el uso de las unidades SI.

Todas las publicaciones del BIPM están protegidas internacionalmente. El presente documento es una traducción autorizada de la correspondiente publicación del BIPM. El único documento oficial es el texto en francés, el cual debe utilizarse siempre que se requiera una referencia autorizada o cuando exista duda sobre alguna interpretación del texto.

El BIPM
y la Convención del Metro

La Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) fue creada por la Convención del Metro, firmada en París el 20 de mayo de 1875 por diecisiete Estados, en la última sesión de la Conferencia Diplomática. Esta Convención fue modificada en 1921.

El BIPM tiene su sede cerca de París, en los terrenos (43.520 m^2) del Pabellón de Breteuil (Parque de Saint-Cloud), puesto a su disposición por el Gobierno Francés; su mantenimiento se financia conjuntamente por los Estados Miembros de la Convención del Metro.

La misión del BIPM es asegurar la unificación mundial de las medidas; por lo tanto se encarga de:

- establecer los patrones fundamentales y las escalas para la medida de las principales magnitudes físicas y conservar los prototipos internacionales;
- llevar a cabo comparaciones de los patrones nacionales e internacionales;
- asegurar la coordinación de las técnicas de medida correspondientes;
- efectuar y coordinar las m ediciones de las constantes físicas fundamentales relevantes en las actividades precedentes.

El BIPM trabaja bajo la supervisión exclusiva del Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM), que a su vez está bajo la autoridad de la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM), a la cual presenta su informe sobre los trabajos efectuados por el BIPM.

La Conferencia General la forman delegados de todos los Estados miembros de la Convención del Metro que se reúnen, en la actualidad, cada cuatro años. Los objetivos de estas reuniones son:

- discutir y propiciar los acuerdos necesarios para asegurar la propagación y el perfeccionamiento del Sistema Internacional de Medidas (SI), forma moderna del sistema métrico;
- confirmar los resultados de las nuevas determinaciones metrológicas fundamentales y adoptar resoluciones científicas diversas, de ámbito internacional;
- adoptar todas las decisiones importantes concernientes a la financiación, organización y desarrollo del BIPM.

El CIPM está formado por dieciocho miembros, cada uno de un Estado distinto; en la actualidad se reúnen todos los años. Los miembros del Comité envían a los Gobiernos de los Estados miembros de la Convención del Metro un informe anual sobre la situación administrativa y financiera del BIPM. La misión principal del Comité es asegurar la uniformidad mundial de las unidades de medida, ya sea actuando directamente o presentando propuestas a la Conferencia General.

Las actividades del BIPM, limitadas en un principio a las medidas de longitud y de masa y a los estudios metrológicos relacionados con estas magnitudes, se han

A 31 de diciembre de 2005, cincuenta y un Estados eran miembros de esta Convención: África del Sur, Alemania, Argentina, Australia, Austria, Bélgica, Brasil, Bulgaria, Camerún, Canadá, Chile, China, República Checa, República de Corea, República Popular Democrática de Corea, Dinamarca, República Dominicana, Egipto, Eslovaquia, España, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Grecia, Inglaterra, Holanda, Hungría, India, Indonesia, Irán, Irlanda, Israel, Italia, Japón, Malasia, Méjico, Noruega, Nueva Zelanda, Paquistán, Polonia, Portugal, Rumania, Rusia, Serbia y Montenegro, Singapur, Suecia, Suiza, Tailandia, Turquía, Uruguay y Venezuela.

Veinte Estados y Entidades Económicas se encuentran asociados a la Conferencia General: Bielorrusia, CARICOM, Costa Rica, Croacia, Cuba, Ecuador, Eslovenia, Estonia, Filipinas, Hong Kong (China), Jamaica, Kazajstán, Kenia, Letonia, Lituania, Malta, Panamá, Taiwán, Ucrania y Vietnam.

ampliado a los patrones de medidas eléctricas (1927), de fotometría y radiometría (1937), de radiaciones ionizantes (1960), a las escalas de tiempo (1988) y a la química (2000). Para ello en 1929 se ampliaron los primitivos laboratorios, construidos en 1876-1878; en 1963-1964 se construyeron nuevos edificios para los laboratorios de la sección de radiaciones ionizantes, en 1984 para trabajos con láseres, en 1988 para la biblioteca y oficinas. En 2001 se inauguró un nuevo edificio destinado a talleres, oficinas y salas de reuniones.

En los laboratorios del BIPM trabajan alrededor de cuarenta y cinco físicos y técnicos, los cuales realizan fundamentalmente investigaciones metrológicas, comparaciones internacionales de realizaciones de unidades y calibraciones de patrones. Estos trabajos son objeto de un informe anual detallado que se publica en el *Informe del Director sobre la actividad y gestión de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas*.

Ante la amplitud de las tareas confiadas al BIPM, en 1927 el CIPM estableció órganos, conocidos como Comités Consultivos, destinados a informar sobre las cuestiones que se les sometan a consideración, para su estudio. Estos Comités Consultivos, que pueden a su vez formar grupos de trabajo, temporales o permanentes, para el estudio de cuestiones concretas, son responsables de coordinar los trabajos internacionales en sus respectivos campos y de proponer al CIPM recomendaciones referentes a las unidades.

Los Comités Consultivos tienen un reglamento común (*BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1963, **31**, 97). Celebran sus reuniones a intervalos irregulares. El presidente de cada Comité Consultivo es nombrado por el CIPM y suele ser miembro del CIPM. Los miembros de los Comités Consultivos son laboratorios de metrología e institutos especializados, aceptados por acuerdo del CIPM, los cuales envían delegados elegidos por ellos. También hay miembros a título personal designados por el CIPM y un representante del BIPM (Criterios para ser miembro de los Comités Consultivos, *BIPM Proc.-verb. Com. int. poids et mesures*, 1996, **64**, 124). En la actualidad hay diez Comités:

1. Comité Consultivo de Electricidad y Magnetismo (CCEM), nuevo nombre dado en 1997 al Comité Consultivo de Electricidad (CCE) creado en 1927;

2. Comité Consultivo de Fotometría y Radiometría (CCPR), nuevo nombre dado en 1971 al Comité Consultivo de Fotometría (CCP) creado en 1933 (de 1930 a 1933 el CCE se ocupó de la fotometría);

3. Comité Consultivo de Termometría (CCT), creado en 1937;

4. Comité Consultivo de Longitud (CCL), nuevo nombre dado en 1997 al Comité Consultivo para la Definición del Metro (CCDM), creado en 1952;

5. Comité Consultivo de Tiempo y Frecuencia (CCTF), nuevo nombre dado en 1997 al Comité Consultivo para la definición del Segundo (CCDS) creado en 1956;

6. Comité Consultivo de Radiaciones Ionizantes (CCRI), nuevo nombre dado en 1997 al Comité Consultivo para los Patrones de Medida de Radiaciones Ionizantes (CCEMRI) creado en 1958 (en 1969 este Comité Consultivo estableció cuatro secciones: Sección I (Rayos X y γ, electrones), Sección II (Medida de radionucléidos), Sección III (Medida de Neutrones), Sección IV

(Patrones de energía α); esta última sección fue disuelta en 1975, siendo confiado su campo de actividad a la Sección II);

7. Comité Consultivo de Unidades (CCU), creado en 1964 (este Comité Consultivo sustituyó a la "Comisión para el Sistema de Unidades" creada por el CIPM en 1954);

8. Comité Consultivo para la Masa y las Magnitudes Relacionadas (CCM), creado en 1980;

9. Comité Consultivo para la Cantidad de Sustancia: metrología en la química (CCQM), creado en 1993;

10. Comité Consultivo de Acústica, Ultrasonidos y Vibraciones (CCAUV), creado en 1999.

Los trabajos de la Conferencia General y del CIPM se publican por el BIPM en las colecciones siguientes:

- *Comptes rendus des séances de la Conférence générale des poids et mesures;*
- *Procès-verbaux des séances du Comité international des poids et mesures.*

El CIPM decidió en 2003 no imprimir más los informes de las reuniones de los Comités Consultivos, sino incluirlos en la página web del BIPM, en su idioma original.

El BIPM también publica monografías sobre cuestiones metrológicas particulares, y la titulada *El Sistema Internacional de Unidades (SI)*, que se actualiza periódicamente, y que recoge todas las decisiones y recomendaciones referentes a las unidades.

La colección de Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures (22 tomos publicados de 1881 a 1966) y el Recueil des Travaux du Bureau International des Poids et Mesures (11 volúmenes publicados de 1966 a 1988) han sido canceladas por decisión del CIPM.

Los trabajos científicos del BIPM se publican en revistas científicas, una relación de las cuales se incluye anualmente en el *Rapport du directeur sur l'activité et la gestion du Bureau international des poids et mesures*.

Desde 1965, *Metrologia*, la revista internacional publicada bajo los auspicios del CIPM, publica artículos sobre metrología científica, avances en métodos de medida, trabajos sobre patrones y unidades, así como los informes referentes a las actividades, decisiones y recomendaciones de los distintos órganos de la Convención del Metro.

El Sistema Internacional de Unidades Contenido

El BIPM y la Convención del Metro 5

Prólogo a la 8ª edición 11

Prólogo a la versión española 12

1 Introducción 13

1.1 Magnitudes y unidades 13

1.2 El Sistema Internacional de Unidades (SI) y el sistema de magnitudes correspondiente 14

1.3 Dimensiones de las magnitudes 15

1.4 Unidades coherentes, unidades derivadas con nombres especiales y prefijos SI 16

1.5 Las unidades SI en el marco de la relatividad general 17

1.6 Unidades para magnitudes que describen efectos biológicos 18

1.7 Legislación sobre unidades 18

1.8 Nota histórica 19

2 Unidades SI21

2.1 Unidades SI básicas 21

2.1.1 Definiciones 21

2.1.1.1 Unidad de longitud (metro) 22

2.1.1.2 Unidad de masa (kilogramo) 22

2.1.1.3 Unidad de tiempo (segundo) 22

2.1.1.4 Unidad de corriente eléctrica (amperio) 23

2.1.1.5 Unidad de temperatura termodinámica (kelvin) 23

2.1.1.6 Unidad de cantidad de sustancia (mol) 24

2.1.1.7 Unidad de intensidad luminosa (candela) 26

2.1.2 Símbolos para las siete unidades básicas 26

2.2 Unidades SI derivadas 27

2.2.1 Unidades derivadas expresadas en función de unidades básicas 27

2.2.2 Unidades con nombres y símbolos especiales; unidades que incorporan nombres y símbolos especiales 27

2.2.3 Unidades para magnitudes adimensionales, también denominadas magnitudes de dimensión uno 30

3 Múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI 32

3.1 Prefijos SI 32

3.2 El kilogramo 33

4 Unidades no pertenecientes al SI **34**

4.1 Unidades no pertenecientes al SI aceptadas para su uso con unidades SI, y unidades basadas en constantes fundamentales **34**

4.2 Otras unidades no pertenecientes al SI cuyo uso no se recomienda **41**

5 Escritura de los nombres y símbolos de las unidades, y expresión de los valores de magnitudes **42**

5.1 Símbolos de las unidades **42**

5.2 Nombres de las unidades **43**

5.3 Reglas y convenios de estilo para expresar los valores de las magnitudes **43**

5.3.1 Valor y valor numérico de una magnitud; cálculo de magnitudes **43**

5.3.2 Símbolos de magnitudes y símbolos de unidades **45**

5.3.3 Escritura del valor de una magnitud **45**

5.3.4 Escritura de los números y del separador decimal **45**

5.3.5 Expresión de la incertidumbre de medida asociada al valor de una magnitud **45**

5.3.6 Multiplicación y división de símbolos de magnitudes; valores de las magnitudes y de los números **46**

5.3.7 Valores de las magnitudes sin dimensión, o magnitudes de dimensión uno **46**

Anexo 1. — Decisiones de la CGPM y del CIPM **49**

Anexo 2. — Realización práctica de las definiciones de las principales unidades **85**

Anexo 3. — Unidades para la medida de magnitudes fotoquímicas y fotobiológicas **87**

Listado de siglas y acrónimos **89**

Índice **91**

Prólogo
a la 8ª edición

Nos es grato presentar la 8ª edición de esta Publicación sobre el SI, que define y presenta el Sistema Internacional de Unidades, SI. Esta publicación se encuentra también disponible en formato electrónico en la página web del BIPM, www.bipm.org/en/si/si_brochure/, en francés y en inglés.

Desde 1970, la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) ha publicado siete ediciones de este documento. Su propósito principal es definir y promover el SI, utilizado en el mundo entero como lenguaje preferido en los campos de la ciencia y la tecnología, desde su adopción en 1948 por la IX Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM).

El SI es, desde luego, un sistema vivo que evoluciona, y que refleja las mejores prácticas en materia de medidas del momento. Esta 8ª edición contiene por tanto un cierto número de variaciones respecto de la edición precedente. Como la anterior, proporciona las definiciones de todas las unidades básicas, así como las Resoluciones y Recomendaciones de la Conferencia General de Pesas y Medidas y del Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) referentes al Sistema Internacional de Unidades. Las referencias formales de estas decisiones de la CGPM y del CIPM se encuentran en los sucesivos volúmenes de las *Copmtes Rendus* de la CGPM (CR) y en los *Procès-verbaux* del CIPM (PV); muchas de ellas han sido publicadas también en *Metrologia*. Para simplificar el uso práctico del sistema, el texto incluye explicaciones concernientes a las decisiones y el primer capítulo presenta una introducción general sobre cómo establecer un sistema de unidades y, en particular, el SI. Las definiciones y realizaciones prácticas de todas las unidades se examinan también dentro del contexto de la relatividad general. Por primera vez esta publicación presenta también una breve discusión sobre las unidades asociadas a las magnitudes biológicas.

El Anexo 1 reproduce, por orden cronológico, todas las decisiones (Resoluciones, Recomendaciones, Declaraciones) promulgadas desde 1889 por la CGPM y por el CIPM sobre las unidades de medida y el Sistema Internacional de Unidades.

El Anexo 2 sólo existe en versión electrónica, estando disponible en la dirección www.bipm.org/en/si/si_brochure/appendix2/. Trata fundamentalmente sobre la realización práctica de ciertas unidades, consistente con las definiciones dadas en el texto principal, que los laboratorios de metrología pueden utilizar para realizar las unidades físicas y para calibrar los patrones materializados y los instrumentos de medida de la más alta calidad. El anexo se actualiza regularmente para reflejar los progresos de las técnicas experimentales empleadas en la realización de las unidades.

El Anexo 3 presenta las unidades empleadas para medir efectos actínicos en materiales biológicos.

El Comité Consultivo de Unidades (CCU) del CIPM es el responsable de la preparación de este documento y tanto el CCU como el CIPM han aprobado el texto final. Esta 8ª edición es una revisión de la 7ª edición (1998) y toma en cuenta las decisiones de la CGPM y del CIPM tras la publicación de la 7ª edición.

Desde hace más de treinta y cinco años, este documento se emplea como obra de referencia en numerosos países, organizaciones y grupos científicos. A fin de hacer su contenido accesible al mayor número de lectores, el CIPM decidió, en 1985, incluir una versión en inglés del texto en la 5ª edición y todas las ediciones posteriores han mantenido esta presentación bilingüe. Para la primera edición en inglés, el BIPM se esforzó en conseguir una traducción fiable del texto original, en estrecha colaboración con el National Physical Laboratory (Teddington, Reino Unido) y con el National Institute of Standards and Technology (Gaithersburg, Estados Unidos), por aquel entonces National Bureau of Standards. En la presente edición, las versiones francesa e inglesa han sido preparadas por el CCU en estrecha colaboración con el BIPM.

La 22ª CGPM decidió en 2003, siguiendo la decisión tomada por el CIPM en 1997, que "el símbolo del separador decimal podría ser el punto o la coma". Según esto, y de acuerdo con lo que es habitual en ambos idiomas, el punto se emplea como separador decimal en inglés y la coma en francés. Esta práctica no tiene ninguna implicación en lo que concierne a la traducción del separador decimal en otros idiomas. Se hace notar que existen pequeñas diferencias al deletrear ciertas palabras entre los países de habla inglesa (por ejemplo, "metre" y "meter", "litre" y "liter"). El texto inglés se corresponde con la norma ISO 31, *Magnitudes y Unidades*.

El lector debe tomar nota de que el texto oficial es el redactado en francés, el cual rige siempre que sea necesaria una referencia o cuando exista una duda de interpretación.

Marzo 2006

E. Göbel	I. M. Mills	A. J. Wallard
Presidente del CIPM	*Presidente del CCU*	*Director del BIPM*

Prólogo a la versión española

La presente versión española ha sido preparada por el Centro Español de Metrología y puede encontrarse, en formato electrónico, en la dirección www.cem.es.

Para algunas unidades de medida se han empleado sus denominaciones castellanizadas admitidas por la Real Academia Española de la Lengua (RAE), tal como autoriza el Art. 3.1.2 del Real Decreto 1317/1989, de 27 de octubre, por el que se establecen las Unidades Legales de Medida; es el caso de voltio, ohmio, faradio, hercio, etc., que en la versión original en francés e inglés aparecen como volt, ohm, farad, hertz, etc.

Septiembre 2008

1 Introducción

1.1 Magnitudes y unidades

El valor de una magnitud se expresa generalmente como el producto de un número por una unidad. La unidad no es más que un valor particular de la magnitud considerada, tomada como referencia, y el número es el cociente entre el valor de la magnitud considerada y la unidad. Para una magnitud concreta, se pueden utilizar numerosas unidades diferentes. Por ejemplo, la velocidad υ de una partícula puede expresarse de la forma υ = 25 m/s = 90 km/h, donde metro por segundo y kilómetro por hora son unidades alternativas para expresar el m ismo valor de la magnitud velocidad. Sin embargo, debido a la importancia de contar con un conjunto de unidades bien definidas y de fácil acceso, que sean reconocidas universalmente para la multitud de medidas que conforman la compleja sociedad de hoy en día, las unidades deben elegirse de forma que sean accesibles a todo el mundo, constantes en el tiempo y el espacio, y fáciles de realizar con gran exactitud.

Los términos **magnitud** y **unidad** se definen en el *Vocabulario Internacional de Términos Fundamentales y Generales de Metrología* (VIM).

Para establecer un sistema de unidades, tal como el Sistema Internacional de Unidades, el SI, es necesario en primer lugar establecer un sistema de magnitudes, que incluya una serie de ecuaciones que definan las relaciones entre estas magnitudes. Esto es necesario porque las ecuaciones que relacionan las magnitudes entre sí, determinan las relaciones entre sus unidades, como se describe más adelante. Es conveniente también elegir las definiciones de un pequeño número de unidades, a las que llamaremos *unidades básicas*, y entonces definir las unidades de todas las demás magnitudes, que llamamos *unidades derivadas,* como producto de potencias de las unidades básicas. De forma similar, las magnitudes correspondientes se denominan *magnitudes básicas* y *magnitudes derivadas* y las ecuaciones que expresan las magnitudes derivadas en función de las magnitudes básicas se emplean para expresar las unidades derivadas en función de las unidades básicas (véase 1.4). A sí en un desarrollo lógico de la materia, la elección de las magnitudes y de las ecuaciones que relacionan las magnitudes precede a la elección de las unidades.

La magnitud velocidad υ, puede expresarse en función de las magnitudes distancia, x, y tiempo, t, por medio de la ecuación

$$\upsilon = \mathrm{d}x/\mathrm{d}t.$$

En la mayor parte de los sistemas de magnitudes y de unidades, la distancia x y el tiempo t se consideran magnitudes básicas, para las cuales se pueden elegir como unidades básicas el metro, m, y el segundo, s. La velocidad υ se considera entonces magnitud derivada, con la unidad derivada metro por segundo, m/s.

Desde el punto de vista científico, la división de las magnitudes en básicas y derivadas es convencional y no es fundamental para la comprensión de la física subyacente. Sin embargo, para las unidades correspondientes, es importante que la definición de cada unidad básica se haga con especial cuidado, a fin de satisfacer los requisitos mencionados en el primer párrafo, de proporcionar la base para todo el sistema de unidades. Las definiciones de las unidades derivadas en función de las unidades básicas provienen de las ecuaciones que definen las magnitudes derivadas en función de las magnitudes básicas. A sí, el establecimiento de un sistema de unidades, como el que es objeto del presente texto, se encuentra ligado íntimamente a las ecuaciones algebraicas que relacionan las magnitudes correspondientes.

Por ejemplo, en electroquímica, la movilidad eléctrica de un ión, u, se define como la relación entre su velocidad υ y la intensidad del campo eléctrico E: $u = \upsilon / E$. La unidad de movilidad eléctrica viene dada como: $(\mathrm{m/s})/(\mathrm{V/m}) = \mathrm{m}^2\ \mathrm{V}^{-1}\ \mathrm{s}^{-1}$en unidades que pueden referirse fácilmente a las unidades básicas escogidas (V es el símbolo del voltio, unidad derivada del SI).

El número de magnitudes derivadas de interés para la ciencia y la tecnología puede, desde luego, extenderse sin límites. A medida que se desarrollan nuevos campos

científicos, los investigadores introducen nuevas magnitudes para representar los intereses de cada campo, y junto con estas nuevas magnitudes vienen nuevas ecuaciones que las relacionan con aquellas magnitudes ya conocidas y de aquí, finalmente, a las magnitudes básicas. De esta forma las unidades derivadas que se utilicen con las nuevas magnitudes siempre pueden definirse como producto de potencias de las unidades básicas previamente elegidas.

1.2 El Sistema Internacional de Unidades (SI) y el sistema de magnitudes correspondiente

La presente publicación tiene por objeto proporcionar la información necesaria para definir y emplear el Sistema Internacional de Unidades, conocido universalmente como SI (del francés *Système International d´Unités*). El SI fue establecido y definido por la Conferencia General de Pesas y Medidas, la CGPM (véase la Nota Histórica en la Sección 1.8) *.

El nombre *Système International d´Unités* (*Sistema Internacional de Unidades*), y la abreviatura SI, fueron establecidos por la 11ª CGPM en 1960.

El sistema de magnitudes a utilizar con el SI, incluyendo las ecuaciones que relacionan las magnitudes, está formado, en realidad, por las magnitudes y ecuaciones de la física, bien conocidas por los científicos, técnicos e ingenieros. Figuran en muchos libros de texto y en numerosas publicaciones de referencia, pero cualquiera de esas listas es sólo una selección de las magnitudes y ecuaciones posibles, que no tienen límite. Muchas de las magnitudes, sus nombres y símbolos recomendados y las ecuaciones que las relacionan, están recogidas en las normas internacionales ISO 31 y CEI 60027 realizadas por el Comité Técnico 12 de la Organización Internacional de Normalización, ISO/TC 12 y por el Comité Técnico 25 de la Comisión Electrotécnica Internacional, IEC/TC 25. Las normas ISO 31 y CEI 60027 están siendo revisadas en la actualidad, de manera conjunta, por estas dos organizaciones de normalización. La norma armonizada revisada se conocerá como ISO/ IEC 80000, *Magnitudes y Unidades*, y en ella se propone que las magnitudes y ecuaciones utilizadas con el SI sean conocidas como Sistema Internacional de Magnitudes.

Ejemplos de ecuaciones que relacionan magnitudes utilizadas en el SI son la ecuación newtoniana de la inercia, que relaciona la fuerza, F, la masa, m, y la aceleración, a, de una partícula: $F = ma$, y la ecuación que establece la energía cinética, T, de una partícula moviéndose con velocidad, v: $T = mv^2/2$

Las magnitudes básicas empleadas en el SI son longitud, masa, tiempo, intensidad de corriente eléctrica, temperatura termodinámica, cantidad de sustancia e intensidad luminosa. Las magnitudes básicas se consideran independientes, por convención. Las unidades básicas correspondientes del SI, elegidas por la CGPM, son el metro, el kilogramo, el segundo, el amperio, el kelvin, el mol y la candela. Las definiciones de estas unidades básicas se dan en la sección 2.1.1 del capítulo siguiente. Las unidades derivadas del SI se forman como producto de potencias de las unidades básicas, según las relaciones algebraicas que definen las magnitudes derivadas correspondientes, en función de las magnitudes básicas (véase 1.4).

En raras ocasiones se puede elegir entre diferentes formas de relacionar las magnitudes. Un ejemplo importante aparece al definir las magnitudes electromagnéticas. En este caso las ecuaciones electromagnéticas racionalizadas de cuatro magnitudes que se usan con el SI, se basan en la longitud, la masa, el tiempo y la corriente eléctrica. En estas ecuaciones, la constante eléctrica ε_0 (permitividad del vacío) y la constante magnética μ_0 (permeabilidad del vacío) tienen dimensiones y valores tales que $\varepsilon_0\mu_0 = 1/c_0^2$, donde c_0 es la velocidad de la luz en el vacío. La ley de

* Las siglas empleadas en este texto y su significado figuran en la página 89.

Coulomb de la fuerza electrostática entre dos partículas de cargas q_1 y q_2 a una distancia r se escribe como**:

$$\boldsymbol{F} = \frac{q_1 q_2 \boldsymbol{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$$

y la correspondiente ecuación de la fuerza magnética ejercida entre dos segmentos de hilos eléctricos finos recorridos por las corrientes eléctricas, $i_1 \mathrm{d}\boldsymbol{l}_1$ and $i_2 \mathrm{d}\boldsymbol{l}_2$, se escribe como

$$\mathrm{d}^2\boldsymbol{F} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i_1 \mathrm{d}\boldsymbol{l}_1 \ (i_2 \mathrm{d}\boldsymbol{l}_2 \times \boldsymbol{r})}{\boldsymbol{r}^3}$$

donde $\mathrm{d}^2\boldsymbol{F}$ es la diferencial segunda de la fuerza $\boldsymbol{F}$. Estas ecuaciones del Sistema SI son diferentes a las utilizadas en los sistemas CGS-ESU, CGS-EMU y CGS de Gauss, en los que ε_0 y μ_0 son magnitudes adimensionales, elegidas con valor igual a uno y en las que el factor de racionalización 4π se omite.

1.3 Dimensiones de las magnitudes

Por convenio, las magnitudes físicas se organizan según un sistema de dimensiones. Se considera que cada una de las siete magnitudes básicas del SI tiene su propia dimensión, representada simbólicamente por una sola letra mayúscula en fuente romana. Los símbolos utilizados para las magnitudes básicas y los utilizados para indicar su dimensión, son los siguientes.

Los símbolos de las magnitudes se escriben siempre en cursiva mientras que los símbolos de las dimensiones se escriben en mayúsculas en fuente romana.

Magnitudes básicas y dimensiones utilizadas en el SI

Magnitud básica	Símbolo de la magnitud	Símbolo de la dimensión
longitud	l, x, r, etc.	L
masa	m	M
tiempo, duración	t	T
intensidad de corriente eléctrica	I, i	I
temperatura termodinámica	T	Θ
cantidad de sustancia	n	N
intensidad luminosa	I_v	J

Para algunas magnitudes, es posible emplear símbolos diferentes, como se indica para la longitud o la corriente eléctrica.

Obsérvese que los símbolos indicados para las magnitudes son simplemente *recomendaciones*; por el contrario, los símbolos de las unidades en este texto son *obligatorios* (véase el capítulo 5), tanto en estilo como en forma.

Todas las demás magnitudes son magnitudes derivadas, que pueden expresarse en función de las magnitudes básicas mediante las ecuaciones de la Física. Las dimensiones de las magnitudes derivadas se escriben en forma de producto de potencias de las dimensiones de las magnitudes básicas, empleando las ecuaciones

Los símbolos dimensionales y los exponentes se tratan según las reglas ordinarias del álgebra. Por ejemplo, la dimensión de la superficie se escribe L^2; la dimensión de la velocidad LT^{-1}; la dimensión de la fuerza LMT^{-2}y la dimensión de la energía como $\mathsf{L}^2\mathsf{MT}^{-2}$.

** Los vectores se expresan mediante símbolos en negrita.

que relacionan las magnitudes derivadas con las básicas. En general la dimensión de una magnitud Q se escribe en forma de un producto dimensional,

$$\dim Q = \mathsf{L}^{\alpha}\,\mathsf{M}^{\beta}\,\mathsf{T}^{\gamma}\,\mathsf{I}^{\delta}\,\Theta^{\varepsilon}\,\mathsf{N}^{\zeta}\,\mathsf{J}^{\eta}$$

donde los exponentes α, β, γ, δ, ε, ζ, y η, que son en general números enteros pequeños que pueden ser positivos, negativos o cero, se denominan exponentes dimensionales. La dimensión de una magnitud derivada proporciona la misma información sobre la relación de esa magnitud con las magnitudes básicas que la que proporciona la unidad SI de la magnitud derivada como producto de potencias de unidades básicas SI.

Hay algunas magnitudes derivadas Q para las que la ecuación que las define es tal que todos los exponentes dimensionales de la expresión de la dimensión de Q son cero. Esto es cierto, en particular, para cualquier magnitud definida como cociente entre dos magnitudes del mismo tipo. Estas magnitudes se describen como *adimensionales* o, alternativamente, como *de dimensión uno*. La unidad derivada coherente de tales magnitudes adimensionales es siempre el número uno, 1, puesto que es el cociente entre unidades idénticas de dos magnitudes del mismo tipo.

Por ejemplo, el índice de refracción de un medio se define como cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y en el medio; esto es, un cociente entre dos magnitudes del mismo tipo. Es por lo tanto una magnitud adimensional.

Hay también algunas magnitudes que no pueden describirse como función de las siete magnitudes básicas del SI, sino que tienen naturaleza de cuenta; es decir, su valor se determina mediante conteo. Ejemplos de ellas son el número de moléculas, la degeneración en mecánica cuántica (el número de estados independientes con igual energía) y la función de partición en termodinámica estadística (el número de estados térmicamente accesibles). Estas magnitudes de cuenta se consideran también habitualmente como adimensionales o de dimensión uno y tienen como unidad el número uno, 1.

Otros ejemplos de magnitudes adimensionales son: el ángulo plano, la fracción másica, la permitividad relativa, la permeabilidad relativa y la *finesse* de una cavidad Perot-Fabry.

1.4 Unidades coherentes, unidades derivadas con nombres especiales y prefijos SI

Las unidades derivadas se definen como productos de potencias de unidades básicas. Cuando el producto de potencias no incluye ningún factor numérico distinto del uno, las unidades derivadas se llaman *unidades derivadas coherentes.* Las unidades básicas y las unidades derivadas coherentes del SI forman un conjunto coherente designado como *conjunto coherente de unidades SI*. La palabra coherente se emplea aquí con el significado siguiente: cuando se utilizan unidades coherentes, las ecuaciones entre los valores numéricos de las magnitudes toman exactamente la misma forma que las ecuaciones entre las magnitudes propiamente dichas. Por tanto, si solamente se utilizan unidades de un conjunto coherente, no se requieren nunca factores de conversión entre unidades.

La expresión de la unidad coherente de una magnitud derivada puede obtenerse a partir del producto dimensional de esa magnitud, reemplazando el símbolo de cada dimensión por el símbolo de la unidad básica correspondiente.

Como ejemplo de nombre especial, la combinación particular de unidades básicas $m^2kg\ s^{-2}$para la energía ha recibido el nombre especial joule, símbolo J, donde por definición, $J = m^2kg\ s^{-2}$.

A algunas de las unidades derivadas coherentes del SI se les da nombres especiales, para simplificar su expresión (véase 2.2. 2, p. 27). Es importante destacar que cada magnitud física tiene solamente una unidad coherente SI, incluso si esta unidad puede expresarse de formas diferentes mediante el uso de nombres y símbolos especiales.

La inversa, sin embargo, no es cierta: la misma unidad SI puede, en ciertos casos, emplearse para expresar los valores de varias magnitudes diferentes (véase p. 30).

La CGPM ha adoptado, además, una serie de prefijos que se usan para formar los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI coherentes (véase en 3.1, p. 32, donde se enumeran los nombres de los prefijos y de sus símbolos). Estos son convenientes para expresar los valores de magnitudes mucho más grandes o mucho más pequeños que la unidad coherente. Siguiendo la Recomendación 1 (1969) del CIPM (véase p. 65), a estos se les ha dado el nombre de *Prefijos SI*. (Estos prefijos se emplean también a veces con unidades fuera del SI, como se describe en el capítulo 4 de este texto). Sin embargo cuando los prefijos se usan con unidades SI, las unidades obtenidas ya no son coherentes, pues efectivamente un prefijo en una unidad derivada introduce un factor numérico en la expresión de la unidad derivada en función de las unidades básicas.

La longitud de un enlace químico suele expresarse más convenientemente en nanómetros, nm, que en metros, m, y la distancia entre Londres y París se expresa mejor en kilómetros, km, que en metros, m.

Como excepción, el nombre del kilogramo, que es la unidad básica de masa, incluye el prefijo kilo por razones históricas. Sin embargo, se toma como unidad básica del SI. Los múltiplos y submúltiplos del kilogramo se forman añadiendo los nombres de los prefijos al nombre de la unidad "gramo" y los símbolos de los prefijos al símbolo de la unidad "g" (véase 3.2, p. 33). Así 10^{-6} kg se escribe miligramo, mg, y no microkilogramo, μkg.

El metro por segundo, símbolo m/s, es la unidad coherente SI de velocidad. El kilómetro por segundo, km/s, el centímetro por segundo, cm/s y el milímetro por segundo, mm/s, son también unidades SI, pero no son unidades SI coherentes.

El conjunto completo de las unidades SI, incluyendo tanto el conjunto coherente como los múltiplos y submúltiplos de estas unidades formados al combinarlas con los prefijos SI, se designa como *conjunto completo de unidades SI*, o simplemente *unidades SI*, o *unidades del SI*. Obsérvese, sin embargo, que los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI no forman un conjunto coherente.

1.5 Las unidades SI en el marco de la relatividad general

Las definiciones de las unidades básicas del SI han sido adoptadas en un contexto que no toma en consideración los efectos relativistas. Cuando se tienen en cuenta, resulta evidente que estas definiciones sólo son válidas en un pequeño dominio espacial que comparte el movimiento de los patrones que las realizan. Estas unidades se conocen como *unidades propias*; se realizan a través de experimentos locales, en los que los únicos efectos relativistas que es necesario considerar son los de la relatividad especial. Las constantes de la física son magnitudes locales cuyo valor se expresa en unidades propias.

La cuestión de las unidades propias se trata en la Resolución A4 adoptada por la XXI Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional (IAU) en 1991 y en el informe del Grupo de Trabajo del CCDS sobre la aplicación de la Relatividad General a la Metrología (*Metrologia*, 1997, **34**, 261-290).

Las realizaciones físicas de la definición de una unidad se comparan generalmente a nivel local. Sin embargo, para los patrones de frecuencia, es posible efectuar dichas comparaciones a distancia mediante señales electromagnéticas. Para interpretar los resultados, se requiere la teoría general de la relatividad que predice, entre otras cosas, un desplazamiento de frecuencia entre patrones del orden de 1 parte en 10^{16} por metro de diferencia de altitud sobre la superficie de la Tierra. Efectos de este orden de magnitud no pueden despreciarse cuando se comparan los mejores patrones de frecuencia.

1.6 Unidades de magnitudes que describen efectos biológicos

Las unidades de magnitudes que describen efectos biológicos son difíciles de referir a las unidades del SI porque incluyen habitualmente factores de ponderación que no pueden conocerse o definirse con precisión y que son dependientes tanto de la energía como de la frecuencia. Estas unidades, que no son unidades del SI; se describen brevemente en esta sección.

La radiación óptica puede producir modificaciones químicas en las materias vivas o inertes. Esta propiedad se denomina *actinismo* y las radiaciones capaces de causar tales cambios se conocen con el nombre de *radiaciones actínicas*. En algunos casos, los resultados de medida de magnitudes fotoquímicas o fotobiológicas de este tipo pueden expresarse en unidades del SI. Este asunto se trata brevemente en el Apéndice 3.

El sonido causa pequeñas fluctuaciones de presión en el aire, superpuestas a la presión atmosférica normal y que se perciben por el oído humano. La sensibilidad del oído depende de la frecuencia del sonido pero no es una expresión simple de las variaciones de presión ni de la frecuencia. Como consecuencia, en acústica se utilizan magnitudes ponderadas en función de la frecuencia para aproximar la forma en que se percibe el sonido. Estas magnitudes ponderadas en frecuencia se usan, por ejemplo, en trabajos sobre la protección contra daños auditivos. Los efectos de las ondas acústicas ultrasonoras tienen una relación parecida en diagnóstico y terapia médicos.

Las radiaciones ionizantes depositan energía en la materia irradiada. La relación entre la energía depositada y la masa se denomina *dosis absorbida*. Dosis elevadas de radiaciones ionizantes matan las células. Esto se aplica en radioterapia y para comparar los efectos terapéuticos de diferentes tratamientos se aplican funciones de ponderación biológica adecuadas. Pequeñas dosis no letales pueden causar daños a los organismos vivos, por ejemplo induciendo cáncer. Hay funciones apropiadas de ponderación de riesgos, que se usan para dosis bajas como base para reglamentos de protección radiológica.

Existe una clase de unidades que cuantifican la actividad biológica de ciertas sustancias empleadas en diagnóstico y terapia médicos, que no pueden definirse todavía en función de las unidades del SI. Esto es porque el mecanismo del efecto biológico específico que proporciona a estas sustancias su eficacia médica no se conoce aún suficientemente bien para poder cuantificarlo en función de parámetros físico-químicos. En vista de su importancia para la salud y la seguridad humanas, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha asumido la responsabilidad de definir las unidades internacionales OMS de la actividad biológica de dichas sustancias.

1.7 Legislación sobre unidades

Los países han establecido, por vía legislativa, las normas referentes al empleo de las unidades a nivel nacional, bien sea para uso general o para su uso en ciertas áreas específicas como el comercio, la sanidad, la seguridad pública o la educación. En casi todos los países, esta legislación se basa en el Sistema Internacional de Unidades.

La Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), fundada en 1955, se encarga de la armonización internacional de esta legislación.

1.8 Nota histórica

Los apartados precedentes de este capítulo ofrecen una breve visión general de cómo se establece un sistema de unidades y, en particular, el Sistema Internacional de Unidades. Esta nota relata, también brevemente, el desarrollo histórico del Sistema Internacional.

La 9ª CGPM (1948, Resolución 6; CR, 64) encargó al CIPM:

- estudiar el establecimiento de un conjunto completo de reglas para las unidades de medida;
- realizar, con este propósito, una encuesta oficial sobre la opinión que prevalecía en los círculos científicos, técnicos y educativos de todos los países;
- hacer recomendaciones sobre el establecimiento de un *sistema práctico de unidades de medida*, susceptible de ser adoptado por todos los países firmantes de la Convención del Metro.

La misma CGPM también estableció, en la Resolución 7 (CR, 70), algunos principios generales para la escritura de los símbolos de las unidades y ofreció una lista de algunas unidades coherentes que recibieron nombres especiales.

La 10ª CGPM (1954, Resolución 6; CR, 80) y la 14ª CGPM (1971, Resolución 3, CR, 78, y *Metrologia*, 1972, **8**, 36) adoptaron como unidades básicas de este sistema práctico de unidades, las unidades de las siete magnitudes siguientes: longitud, masa, tiempo, intensidad de corriente eléctrica, temperatura termodinámica, cantidad de sustancia e intensidad luminosa.

La 11ª CGPM (1960, Resolución 12; CR, 87) adoptó para este sistema práctico de unidades el nombre de *Sistema Internacional de Unidades*, con la abreviatura internacional SI y estableció las reglas para los prefijos, las unidades derivadas, las antiguas unidades suplementarias y otras cuestiones, estableciendo, por tanto, una reglamentación exhaustiva para las unidades de medida. A lo largo de las reuniones sucesivas, la CGPM y el CIPM han añadido, o modificado según las necesidades, la estructura original del SI para contemplar el progreso de la ciencia y las necesidades de los usuarios.

La evolución histórica que condujo a estas importantes decisiones de la CGPM puede resumirse como sigue:

- La creación del sistema métrico decimal en la época de la Revolución Francesa y el consiguiente depósito, el 22 de junio de 1799, de dos patrones de platino que representaban el metro y el kilogramo en los Archivos de la República en París, puede considerarse como el primer paso en el desarrollo del actual Sistema Internacional de Unidades.
- En 1832, Gauss preconiza activamente la aplicación de este sistema métrico, asociado al ‘segundo’ definido en astronomía, como sistema coherente de unidades para las ciencias físicas. Gauss fue el primero en efectuar medidas *absolutas* del campo magnético terrestre empleando un sistema decimal basado en las *tres unidades mecánicas* milímetro, gramo y segundo para las magnitudes longitud, masa y tiempo respectivamente. En años posteriores, Gauss y Weber extendieron estas medidas para incluir otros fenómenos eléctricos.

- Estas aplicaciones en el campo de la electricidad y el magnetismo se desarrollaron más en los años 1860 bajo la dirección activa de Maxwell y Thomson en el seno de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia (BAAS). Ellos formularon los requisitos de un *sistema coherente de unidades* con unidades *básicas* y unidades *derivadas*. En 1874 la BAAS introdujo el *sistema CGS*, un sistema de unidades tridimensional coherente basado en las tres unidades mecánicas centímetro, gramo y segundo, que utilizaba prefijos del micro al mega para expresar los submúltiplos y múltiplos decimales. El desarrollo subsiguiente de la física como ciencia experimental se basó en gran parte en este sistema.
- Tras comprobarse que las unidades CGS coherentes en los campos de la electricidad y el magnetismo eran poco convenientes en la práctica (demasiado grandes o demasiado pequeñas, según los casos), en el año 1880 la BAAS y el Congreso Eléctrico Internacional, precursor de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), aprobaron un conjunto mutuamente coherente de *unidades prácticas*. Entre ellas figuraban el ohmio para la resistencia eléctrica, el voltio para la fuerza electromotriz y el amperio para la intensidad de corriente eléctrica.
- Tras la firma de la Convención del Metro el 20 de mayo de 1875, que creó el BIPM y estableció el CIPM y la CGPM, comenzaron los trabajos de fabricación de los nuevos prototipos internacionales del metro y del kilogramo. En 1889 la 1ª CGPM sancionó los prototipos internacionales del metro y el kilogramo. Junto con el segundo astronómico como unidad de tiempo, estas unidades constituyeron un sistema de unidades mecánicas tridimensional similar al sistema CGS, pero en el que las unidades básicas eran el metro, el kilogramo y el segundo, el sistema MKS.
- En 1901 Giorgi demostró que era posible combinar las unidades mecánicas del sistema metro-kilogramo-segundo con el sistema práctico de unidades eléctricas para formar un sistema único coherente tetradimensional añadiendo a aquellas tres unidades básicas una cuarta unidad, de naturaleza eléctrica, como el amperio o el ohmio y reescribiendo las ecuaciones empleadas en electromagnetismo en la llamada forma racionalizada. La propuesta de Giorgi abrió el camino a nuevos desarrollos.
- Tras la revisión de la *Convention du Mètre* por la 6ª CGPM en 1921, que amplió el alcance y las responsabilidades del BIPM a otros campos de la física, y la creación subsiguiente del Comité Consultivo de Electricidad (CCE) por la 7ª CGPM en 1927, la propuesta de Giorgi fue estudiada en detalle por la IEC, la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (IUPAP) y otras organizaciones internacionales. Esto condujo al CCE a proponer, en 1939, la adopción de un sistema tetradimensional basado en el metro, el kilogramo, el segundo y el amperio, el sistema MKSA, propuesta que fue aprobada por el CIPM en 1946.
- Como resultado de una encuesta internacional realizada por el BIPM, a partir de 1948, la 10ª CGPM aprobó, en 1954, la introducción del *amperio*, el *kelvin* y la *candela* como unidades básicas para la intensidad de corriente eléctrica, la temperatura termodinámica y la intensidad luminosa, respectivamente. El nombre *Système International d´Unités*, con la abreviatura SI, fue dado al sistema por la 11ª CGPM en 1960. En la 14ª CGPM, en 1971, tras largas deliberaciones entre físicos y químicos para encontrar una definición capaz de satisfacer a las dos comunidades, se completó la versión actual del SI mediante la inclusión del *mol* como unidad básica de cantidad de sustancia, aumentando a siete el total de unidades básicas del SI.

2 Unidades SI

2.1 Unidades SI básicas

Las definiciones oficiales de todas las unidades básicas del SI son aprobadas por la CGPM. La primera de estas definiciones fue aprobada en 1889 y la más reciente en 1983. Estas definiciones se modifican de cuando en cuando, según avanza la ciencia.

2.1.1 Definiciones

Se muestran aquí, sangradas y con fuente romana en negrita, las definiciones actuales de las unidades básicas, tomadas de las *Comptes Rendus* (CR) de las CGPM correspondientes. Las explicaciones que complementan las definiciones pero que no son parte integral de ellas, tomadas de las *Comptes Rendus* de la CGPM o de los *Procès-Verbaux* (PV) del CIPM figuran también sangradas, pero en fuente normal. El texto principal incluye notas históricas y explicaciones, pero no forma parte de las definiciones.

Es importante distinguir entre la definición de una unidad y su realización. La definición de cada unidad básica del SI está redactada cuidadosamente, de forma que resulte única y que proporcione una base teórica sólida para que se puedan hacer medidas con exactitud y reproducibilidad máximas. La realización de la definición de una unidad es el procedimiento según el cual puede utilizarse la definición de la unidad para establecer el valor y la incertidumbre asociada de una magnitud del mismo tipo que la unidad. En la página web del BIPM, en la dirección: http://www.bipm.org/fr/si/si_brochure/appendix2/, figura una descripción de la forma en la que las definiciones de ciertas unidades importantes se realizan en la práctica.

Las unidades SI derivadas coherentes se definen de forma única y en función exclusivamente de las unidades básicas del SI. Por ejemplo, la unidad coherente derivada SI de resistencia, el ohmio, símbolo Ω, se define de forma única por la relación $\Omega = m^2\ kg\ s^{-3}A^{-2}$, que resulta de la definición de la magnitud resistencia. Sin embargo, puede utilizarse cualquier método acorde con las leyes de la física para realizar cualquier unidad SI. Por ejemplo, la unidad ohmio puede realizarse con gran exactitud mediante el efecto Hall cuántico y el valor de la constante de von Klitzing recomendado por el CIPM (véanse pp. 74 y 77 del Apéndice 1).

Finalmente, debe observarse que, aunque las siete magnitudes básicas – longitud, masa, tiempo, intensidad de corriente eléctrica, temperatura termodinámica, cantidad de sustancia e intensidad luminosa – se consideran independientes por convenio, las unidades básicas – metro, kilogramo, segundo, amperio, kelvin, mol y candela – no lo son. Así la definición del metro incluye al segundo, la definición del amperio incluye al metro, al kilogramo y al segundo, la definición del mol incluye al kilogramo y la definición de la candela incluye al metro, al kilogramo y al segundo.

2.1.1.1 Unidad de longitud (metro)

La definición del metro de 1889 basada en el prototipo internacional de platino iridiado fue reemplazada durante la 11ª CGPM (1960) por una definición basada en la longitud de onda de una radiación del kriptón 86. Se adoptó este cambio para mejorar la exactitud con la que se podía realizar la definición del metro; esta realización se efectuaba mediante un interferómetro y un microscopio móvil utilizado para medir la diferencia de camino óptico por conteo de franjas. A su vez, en 1983, esta definición fue reemplazada por la 17ª CGPM (1983, Resolución 1, CR, 97, y *Metrologia*, 1984, **20**, 25) que estableció la definición actual:

> **El metro es la longitud de la trayecto recorrido en el vacío por la luz durante un tiempo de 1/299 792 458 de segundo.**

El símbolo c_0 (o a veces simplemente c), es el símbolo convencional para la velocidad de la luz en el vacío.

De aquí resulta que la velocidad de la luz en el vacío es igual a 299 792 458 metros por segundo exactamente, c_0 = 299 792 458 m/s.

El prototipo internacional del metro original, que se aprobó en la 1ª CGPM en 1889 (CR, 34-38), sigue conservándose en el BIPM, en las condiciones establecidas en 1889.

2.1.1.2 Unidad de masa (kilogramo)

El prototipo internacional del kilogramo, un patrón materializado fabricado en platino iridiado, se conserva en el BIPM en las condiciones establecidas por la 1ª CGPM en 1889 (CR, 34-38) que aprobó este prototipo y declaró:

> Este prototipo será considerado en lo sucesivo como unidad de masa.

La 3ª CGPM (1901, CR, 70), en una declaración tendente a eliminar la ambigüedad que se presentaba en el uso corriente del término "peso", confirmó que:

> **El kilogramo es la unidad de masa; es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo.**

La declaración completa figura en la p. 55.

El símbolo, $m(\mathcal{K})$, se emplea para designar la masa del prototipo internacional del kilogramo, $\mathcal{K}$.

De aquí resulta que la masa del prototipo internacional del kilogramo es siempre igual a 1 kilogramo exactamente, $m(\mathcal{K})$ = 1 kg. Sin embargo, debido a la inevitable acumulación de partículas sobre sus superficies, el prototipo internacional está sujeto a una contaminación superficial reversible del orden de 1 μg de masa por año. Por ello el CIPM ha declarado que, dependiendo de posteriores investigaciones, la masa de referencia del prototipo internacional es la que posee inmediatamente después de una limpieza y lavado según un método específico (PV, 1989, **57**, 104-105 y PV, 1990, **58**, 95-97). La masa de referencia así definida se emplea para calibrar los patrones nacionales de platino iridiado (*Metrologia*, 1994, **31**, 317-336).

2.1.1.3 Unidad de tiempo (segundo)

El segundo, unidad de tiempo, se definió originalmente como la fracción 1/86 400 del día solar medio. La definición exacta del "día solar medio" se dejó a los astrónomos. Sin embargo, las observaciones demostraron que esta definición no era satisfactoria por culpa de las irregularidades de la rotación de la Tierra. Para conseguir una definición más precisa de la unidad de tiempo, la 11ª CGPM (1960, Resolución 9; CR, 86) aprobó una definición, proporcionada por la Unión Astronómica Internacional, que se basaba en el año trópico 1900. Sin embargo, las investigaciones experimentales habían demostrado ya que un patrón atómico de tiempo, basado en

una transición entre dos niveles de energía de un átomo o de una molécula, podría realizarse y reproducirse con una exactitud muy superior. Considerando que para la ciencia y la tecnología era indispensable una definición muy precisa de la unidad de tiempo, la 13ª CGPM (1967/68, Resolución 1; CR, 103 y *Metrologia*, 1968, **4**, 43) reemplazó la definición del segundo por la siguiente:

> **El segundo es la duración de 9 192 631 770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133.**

De aquí resulta que la frecuencia de la transición hiperfina del estado fundamental del átomo de cesio es igual a 9 192 631 770 hercio, ν(hfs Cs) = 9 192 631 770 Hz.

El símbolo ν(hfs Cs) se emplea para designar la frecuencia de la transición hiperfina del átomo de cesio en el estado fundamental.

En su reunión de 1997, el CIPM confirmó que:

> Esta definición se refiere a un átomo de cesio en reposo, a una temperatura de 0 K.

Esta nota tiene por objeto precisar que la definición del segundo del SI se basa en un átomo de cesio no perturbado por las radiaciones del cuerpo negro, es decir en un ambiente cuya temperatura termodinámica sea de 0 K. Las frecuencias de todos los patrones primarios de frecuencia deben corregirse para tener en cuenta el desplazamiento debido a la radiación ambiente, como declaró el Comité Consultivo de Tiempo y Frecuencia en 1999.

2.1.1.4 Unidad de intensidad de corriente eléctrica (amperio)

Las unidades eléctricas, llamadas "internacionales", de corriente y resistencia, fueron introducidas por el Congreso Internacional de Electricidad, celebrado en Chicago en 1893, y las definiciones del amperio "internacional" y del ohmio "internacional" fueron confirmadas por la Conferencia Internacional de Londres en 1908.

Aunque ya era obvio con ocasión de la 8ª CGPM (1933) que había un deseo unánime de reemplazar aquellas unidades "internacionales" por las llamadas "unidades absolutas", la decisión oficial de suprimirlas no se adoptó hasta la 9ª CGPM (1948) que adoptó el amperio como unidad de intensidad de corriente eléctrica, de acuerdo con la definición siguiente propuesta por el CIPM (1946, Resolución 2; PV, **20**, 129-137):

> **El amperio es la intensidad de una corriente constante que, manteniéndose en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable y situados a una distancia de 1 metro uno del otro, en el vacío, produciría entre estos conductores una fuerza igual a 2×10^{-7} newton por metro de longitud.**

De aquí resulta que la constante magnética, μ_0, también conocida como permeabilidad del vacío, es exactamente igual a $4\pi \times 10^{-7}$ henrios por metro, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m.

La expresión "unidad MKS de fuerza" que figuraba en el texto original de 1946 ha sido reemplazada aquí por "newton", nombre adoptado para esta unidad por la 9ª CGPM (1948, Resolución 7; CR, 70).

2.1.1.5 Unidad de temperatura termodinámica (kelvin)

La definición de la unidad de temperatura termodinámica fue establecida por la 10ª CGPM (1954, Resolución 3; CR, 79) que eligió el punto triple del agua como punto fijo fundamental, asignándole la temperatura de 273,16 K por definición. La 13ª

CGPM (1967/68, Resolución 3; CR, 104 y *Metrologia*, 1968, **4**, 43) adoptó el nombre "kelvin", símbolo K, en lugar de "grado Kelvin", símbolo °K y definió la unidad de temperatura termodinámica del siguiente modo (1967/68, Resolución 4; CR, 104 y *Metrologia*, 1968, **4**, 43):

> **El kelvin, unidad de temperatura termodinámica, es la fracción 1/273,16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua.**

De aquí resulta que la temperatura termodinámica del punto triple del agua es igual a 273,16 kelvin exactamente, T_{tpw} = 273,16 K.

El símbolo T_{tpw}, se emplea para designar la temperatura termodinámica del punto triple del agua.

En su reunión de 2005 el CIPM afirmó que:

> Esta definición se refiere a un agua de una composición isotópica definida por las siguientes relaciones de cantidad de sustancia: 0,000 155 76 moles de ^{2}H por mol de ^{1}H, 0,000 379 9 moles de ^{17}O por mol de ^{16}O y 0,002 005 2 moles de ^{18}O por mol de ^{16}O.

Debido a la forma en que habitualmente se definían las escalas de temperatura, la temperatura termodinámica, símbolo T, continuó expresándose en función de su diferencia respecto a la temperatura de referencia T_0 = 273,15 K, punto de congelación del agua. Esta diferencia de temperatura se denomina temperatura Celsius, símbolo t y se define mediante la ecuación entre magnitudes:

$$t = T - T_0.$$

La unidad de temperatura Celsius es el grado Celsius, símbolo °C, cuya magnitud es igual por definición a la del kelvin. Una diferencia o un intervalo de temperatura puede expresarse tanto en kelvin como en grados Celsius (13ª CGPM, 1967/68, Resolución 3, mencionada a continuación), teniendo la diferencia de temperaturas el mismo el valor numérico. Sin embargo, el valor numérico de la temperatura Celsius expresado en grados Celsius se encuentra ligado al valor numérico de la temperatura termodinámica expresada en kelvin por la relación

$$t/^{\circ}\mathrm{C} = T/\mathrm{K} - 273{,}15.$$

El kelvin y el grado Celsius son también las unidades de la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90) adoptada por el CIPM en 1989 en su Recomendación 5 (CI-1989; PV, **57**, 26 y *Metrologia*, 1990, **27**, 13).

2.1.1.6 Unidad de cantidad de sustancia (mol)

Tras el descubrimiento de las leyes fundamentales de la química, se usaban unidades denominadas por ejemplo "átomo-gramo" y "molécula-gramo" para especificar las cantidades de elementos y compuestos químicos. Estas unidades estaban directamente ligadas a los "pesos atómicos" y a los "pesos moleculares" que en realidad son masas relativas. Los "pesos atómicos" fueron referidos en principio al peso atómico del elemento químico oxígeno, tomado por convenio igual a 16. Pero cuando los físicos separaron los isótopos en el espectrómetro de masas y atribuyeron el valor 16 a uno de los isótopos del oxígeno, los químicos atribuyeron el mismo valor a la mezcla (de composición ligeramente variable) de los isótopos 16, 17 y 18 que constituyen el elemento oxígeno natural. Un acuerdo entre la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (IUPAP) y la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) puso fin a esta dualidad en 1959/60. Desde entonces, físicos y químicos han convenido en atribuir el valor 12, exactamente, al llamado "peso atómico" del isótopo 12 del carbono (carbono 12, ^{12}C), llamado correctamente masa atómica relativa $A_r(^{12}\mathrm{C})$. La escala unificada así obtenida proporciona los valores de las masas

El símbolo recomendado para la masa atómica relativa (peso atómico) es A_r(X), siendo necesario precisar la entidad atómica X, y el símbolo recomendado para la masa molecular relativa (peso molecular) es M_r(X), siendo necesario precisar la entidad molecular X.

atómicas y moleculares relativas, también conocidas como pesos atómicos y moleculares, respectivamente.

La magnitud utilizada por los químicos para especificar la cantidad de elementos o de compuestos químicos se denomina "cantidad de sustancia". La cantidad de sustancia se define como proporcional al número de entidades elementales especificadas de una muestra, siendo la constante de proporcionalidad una constante universal idéntica para todas las muestras. La unidad de cantidad de sustancia se denomina *mol*, símbolo mol y el mol se define fijando la masa de carbono 12 que constituye un mol de átomos de carbono 12. Por acuerdo internacional, esta masa se ha fijado en 0,012 kg, o sea 12 g.

Siguiendo las propuestas de la IUPAP, la IUPAC y la ISO, el CIPM dio en 1967, y confirmó en 1969, una definición del mol que fue adoptada finalmente por la 14ª CGPM (1971, Resolución 3; CR, 78 y *Metrologia*, 1972, **8**, 36):

1. **El mol es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0,012 kilogramos de carbono 12; su símbolo es "mol".**
2. **Cuando se emplee el mol, deben especificarse las entidades elementales, que pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones u otras partículas o grupos especificados de tales partículas.**

La masa molar de un átomo o de una molécula X se designa por $M(\mathrm{X})$ o M_{X}; es la masa de un mol de X.

De aquí resulta que la masa molar del carbono 12 es igual a 12 g por mol, exactamente, $M(^{12}\mathrm{C}) = 12$ g/mol.

En 1980, el CIPM aprobó el informe del CCU (1980) que precisaba:

> En esta definición se entiende que se refiere a átomos de carbono 12 no ligados, en reposo y en su estado fundamental.

Cuando se cite la definición del mol, conviene acompañar también esta observación.

La definición del mol permite también determinar el valor de la constante universal que liga el número de entidades a la cantidad de sustancia de una muestra. Esta constante se denomina constante de Avogadro, símbolo N_{A} o L. Si $N(\mathrm{X})$ designa al número de entidades X de una muestra dada y si $n(\mathrm{X})$ designa la cantidad de sustancia de entidades X de la misma muestra, se tiene la relación:

$$n(\mathrm{X}) = N(\mathrm{X})/N_{\mathrm{A}}.$$

Obsérvese que, dado que $N(\mathrm{X})$ es adimensional y $n(\mathrm{X})$ se expresa mediante la unidad SI mol, la constante de Avogadro tiene como unidad SI coherente el mol elevado a la potencia menos uno.

En el nombre "cantidad de sustancia", las palabras "de sustancia" podrían reemplazarse por otras palabras que especificasen la sustancia o materia en cuestión para cada aplicación particular; así por ejemplo se podría decir "cantidad de ácido clorhídrico, ClH" o "cantidad de benceno, C_6H_6". Es importante precisar la entidad en cuestión (como recomienda el segundo párrafo de la definición del mol), preferentemente indicando la fórmula química empírica del material en cuestión. Aunque la palabra "cantidad" tiene una definición más general en el diccionario, dicha abreviatura del nombre completo "cantidad de sustancia" se usa a veces por brevedad. Ello se aplica también a las magnitudes derivadas como la "concentración de cantidad de sustancia", que puede denominarse simplemente "concentración de cantidad". Sin embargo, en el campo de la química clínica, el nombre "concentración de cantidad de sustancia" se abrevia generalmente como "concentración de sustancia".

2.1.1.7 Unidad de intensidad luminosa (candela)

Las unidades de intensidad luminosa basadas en patrones de llama o de filamento incandescente, que estuvieron en uso en diferentes países antes de 1948, fueron sustituidos por la "nueva candela" basada en la luminancia del emisor de radiación de Planck (cuerpo negro) a la temperatura de congelación del platino. Esta modificación se había preparado por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) y por el Comité Internacional antes de 1937; la decisión fue promulgada por el CIPM en 1946. Fue ratificada en 1948 por la 9ª CGPM que adoptó para esta unidad un nuevo nombre internacional, la *candela*, símbolo cd; en 1967, la 13ª CGPM (Resolución 5, CR, 104 y *Metrologia*, 1968, **4**, 43-44) hizo una enmienda a esta definición.

En 1979, debido a las dificultades experimentales para realizar un emisor de radiación de Planck a altas temperaturas y a las nuevas posibilidades ofrecidas por la radiometría, es decir, la medida de la potencia de la radiación óptica, la 16ª CGPM (1979, Resolución 3; CR, 100 y *Metrologia*, 1980, **16**, 56) adoptó una nueva definición de la candela:

> **La candela es la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540 × 10^{12} hercio y cuya intensidad energética en dicha dirección de 1/683 vatio por estereorradián.**

De aquí resulta que la eficacia luminosa espectral de una radiación monocromática de frecuencia igual a 540 × 10^{12} hercios es exactamente igual a 683 lúmenes por vatio, K = 683 lm/W = 683 cd sr/W.

2.1.2 Símbolos para las siete unidades básicas

Las unidades básicas del Sistema Internacional se recogen en la Tabla 1, que relaciona las magnitudes básicas con los nombres y símbolos de las siete unidades básicas: 10ª CGPM (1954, Resolución 6; CR, 80); 11ª CGPM (1960, Resolución 12; CR, 87); 13ª CGPM (1967/68, Resolución 3; CR, 104 y *Metrologia*, 1968, **4**, 43); 14ª CGPM (1971, Resolución 3; CR, 78 y *Metrologia*, 1972, **8**, 36)).

Tabla 1. Unidades básicas del SI

Magnitudes básicas		Unidades SI básicas	
Nombre	Símbolo	Nombre	Símbolo
longitud	*l, x, r*, etc.	metro	m
masa	*m*	kilogramo	kg
tiempo, duración	*t*	segundo	s
corriente eléctrica	*I, i*	amperio	A
temperatura termodinámica	*T*	kelvin	K
cantidad de sustancia	*n*	mol	mol
intensidad luminosa	I_v	candela	cd

Los símbolos de las magnitudes generalmente son letras solas, de los alfabetos griego o latino, impresas en cursiva. Se trata de *recomendaciones*.

Los símbolos de las unidades son *obligatorios*, véase el capítulo 5.

2.2 Unidades SI derivadas

Las unidades derivadas se forman a partir de productos de potencias de unidades básicas. Las unidades derivadas coherentes son productos de potencias de unidades básicas en las que no interviene ningún factor numérico más que el 1. Las unidades básicas y las unidades derivadas coherentes del SI forman un conjunto coherente, denominado *conjunto de unidades SI coherentes* (véase 1.4, p. 16).

2.2.1 Unidades derivadas expresadas en función de unidades básicas

El número de magnitudes utilizadas en el campo científico no tiene límite; por tanto no es posible establecer una lista completa de magnitudes y unidades derivadas. Sin embargo, la Tabla 2 presenta algunos ejemplos de magnitudes derivadas y las unidades derivadas coherentes correspondientes, expresadas directamente en función de las unidades básicas.

Tabla 2. Ejemplos de unidades SI derivadas coherentes expresadas a partir de las unidades básicas

Magnitud derivada		Unidad SI derivada coherente	
Nombre	Símbolo	Nombre	Símbolo
área, superficie	A	metro cuadrado	m^2
volumen	V	metro cúbico	m^3
velocidad	υ	metro por segundo	m/s
aceleración	a	metro por segundo cuadrado	m/s^2
número de ondas	σ, $\tilde{\nu}$	metro a la potencia menos uno	m^{-1}
densidad, masa en volumen	ρ	kilogramo por metro cúbico	kg/m^3
densidad superficial	ρ_A	kilogramo por metro cuadrado	kg/m^2
volumen específico	υ	metro cúbico por kilogramo	m^3/kg
densidad de corriente	j	amperio por metro cuadrado	A/m^2
campo magnético	H	amperio por metro	A/m
concentración de cantidad de sustancia [(a)], concentración	c	mol por metro cúbico	mol/m^3
concentración másica	ρ, γ	kilogramo por metro cúbico	kg/m^3
luminancia	L_v	candela por metro cuadrado	cd/m^2
índice de refracción [(b)]	n	uno	1
permeabilidad relativa [(b)]	μ_r	uno	1

(*a*) En el campo de la química clínica, esta magnitud se llama también concentración de sustancia.
(*b*) Son magnitudes adimensionales o magnitudes de dimensión uno. El símbolo "1" de la unidad (el número "uno") generalmente se omite cuando se indica el valor de las magnitudes adimensionales.

2.2.2 Unidades con nombres y símbolos especiales; unidades que incorporan nombres y símbolos especiales

Por conveniencia, ciertas unidades derivadas coherentes han recibido nombres y símbolos especiales. Son en total veintidós y se recogen en la Tabla 3. Estos nombres y símbolos especiales pueden utilizarse con los nombres y los símbolos de las unidades básicas o derivadas para expresar las unidades de otras magnitudes derivadas. Algunos ejemplos de ello figuran en la Tabla 4. Los nombres y símbolos

especiales son una forma compacta de expresar combinaciones de unidades básicas de uso frecuente, pero en muchos casos sirven también para recordar al lector la magnitud en cuestión. Los prefijos SI pueden emplearse con cualquiera de los nombres y símbolos especiales, pero al hacer esto la unidad resultante no será una unidad coherente.

De entre los nombres y símbolos hay que destacar los cuatro últimos de la Tabla 3, que fueron aprobados específicamente por la 15ª CGPM (1975, Resolución 8 y 9; CR, 105 y *Metrologia*, 1975, **11**, 180), la 16ª CGPM (1979, Resolución 5; CR, 100 y *Metrologia*, 1980, **16**, 56) y la 21ª CGPM (1999, Resolución 12; CR, 145 y *Metrologia*, 2000, **37**, 95) para evitar errores en las medidas ligadas a la salud humana.

En la última columna de las Tablas 3 y 4 se muestra cómo pueden expresarse las unidades SI mencionadas en función de las unidades SI básicas. En esta columna, los factores de la forma m^0, kg^0, etc., que son iguales a 1, no se muestran explícitamente.

Tabla 3. Unidades SI derivadas coherentes con nombres y símbolos especiales

	Unidad SI derivada coherente [(a)]			
Magnitud derivada	Nombre	Símbolo	Expresión mediante otras unidades SI	Expresión en unidades SI básicas
ángulo plano	radián [(b)]	rad	1 [(b)]	m/m
ángulo sólido	estereorradián [(b)]	sr [(c)]	1 [(b)]	m^2/m^2
frecuencia	hercio [(d)]	Hz		s^{-1}
fuerza	newton	N		$m\ kg\ s^{-2}$
presión, tensión	pascal	Pa	N/m^2	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
energía, trabajo, cantidad de calor	julio	J	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
potencia, flujo energético	vatio	W	J/s	$m^2\ kg\ s^{-3}$
carga eléctrica, cantidad de electricidad	culombio	C		s A
diferencia de potencial eléctrico, fuerza electromotriz	voltio	V	W/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
capacidad eléctrica	faradio	F	C/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
resistencia eléctrica	ohmio	Ω	V/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$
conductancia eléctrica	siemens	S	A/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$
flujo magnético *(h)*	weber	Wb	V s	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
densidad de flujo magnético *(i)*	tesla	T	Wb/m^2	$kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
inductancia	henrio	H	Wb/A	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
temperatura Celsius	grado Celsius [(e)]	°C		K
flujo luminoso	lumen	lm	cd sr [(c)]	cd
iluminancia	lux	lx	lm/m^2	m^{-2} cd
actividad de un radionucléido[(f)]	becquerel [(d)]	Bq		s^{-1}
dosis absorbida, energía másica (comunicada), kerma	gray	Gy	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
dosis equivalente, dosis equivalente ambiental, dosis equivalente direccional, dosis equivalente individual	sievert [(g)]	Sv	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
actividad catalítica	katal	kat		s^{-1} mol

(*a*) Los prefijos SI pueden emplearse con cualquiera de los nombres y símbolos especiales, pero en este caso la unidad resultante no es una unidad coherente.

(*b*) El radián y el estereorradián son nombres especiales del número uno, que pueden usarse para proporcionar información respecto a la magnitud a que afectan. En la práctica, los símbolos rad y sr se emplean donde sea apropiado, mientras que el símbolo de la unidad derivada "uno" generalmente no se menciona cuando se dan valores de magnitudes adimensionales.

(*c*) En fotometría, se mantiene generalmente el nombre estereorradián y el símbolo sr, en la expresión de las unidades.

(*d*) El hercio sólo se utiliza para los fenómenos periódicos y el becquerel para los procesos estocásticos relacionados con la actividad de un radionucléido.

(*e*) El grado Celsius es el nombre especial del kelvin empleado para expresar las temperaturas Celsius. El grado Celsius y el kelvin tienen la misma magnitud, por lo que el valor numérico de una diferencia de temperatura o de un intervalo de temperatura es idéntico cuando se expresa en grados Celsius o en kelvin.

(*f*) La actividad de un radionucléido se llama a veces de forma incorrecta radioactividad.

(*g*) Véase la Recomendación 2 (CI-2002) del CIPM (p. 80) sobre el empleo del sievert (PV, 2002, **70**, 102).

(h) Al flujo magnético también se le conoce como flujo de inducción magnética.

(i) A la densidad de flujo magnético también se la conoce como inducción magnética.

Tabla 4. Ejemplos de unidades SI derivadas coherentes cuyo nombres y símbolos contienen unidades SI derivadas coherentes con nombres y símbolos especiales

	Unidad SI derivada coherente		
Magnitud derivada	Nombre	Símbolo	Expresión en unidades SI básicas
viscosidad dinámica	pascal segundo	Pa s	m^{-1} kg s^{-1}
momento de una fuerza	newton metro	N m	m^2 kg s^{-2}
tensión superficial	newton por metro	N/m	kg s^{-2}
velocidad angular	radián por segundo	rad/s	m m^{-1} s^{-1} = s^{-1}
aceleración angular	radián por segundo cuadrado	rad/s^2	m m^{-1} s^{-2} = s^{-2}
densidad superficial de flujo térmico irradiancia	vatio por metro cuadrado	W/m^2	kg s^{-3}
capacidad térmica, entropía	julio por kelvin	J/K	m^2 kg s^{-2} K^{-1}
capacidad térmica másica, entropía másica	julio por kilogramo y kelvin	J/(kg K)	m^2 s^{-2} K^{-1}
energía másica	julio por kilogramo	J/kg	m^2 s^{-2}
conductividad térmica	vatio por metro y kelvin	W/(m K)	m kg s^{-3} K^{-1}
densidad de energía	julio por metro cúbico	J/m^3	m^{-1} kg s^{-2}
campo eléctrico	voltio por metro	V/m	m kg s^{-3} A^{-1}
densidad de carga eléctrica	culombio por metro cúbico	C/m^3	m^{-3} s A
densidad superficial de carga eléctrica	culombio por metro cuadrado	C/m^2	m^{-2} s A
densidad de flujo eléctrico, desplazamiento eléctrico	culombio por metro cuadrado	C/m^2	m^{-2} s A
permitividad	faradio por metro	F/m	m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2
permeabilidad	henrio por metro	H/m	m kg s^{-2} A^{-2}
energía molar	julio por mol	J/mol	m^2 kg s^{-2} mol^{-1}
entropía molar, capacidad calorífica molar	julio por mol y kelvin	J/(mol K)	m^2 kg s^{-2} K^{-1} mol^{-1}
exposición (rayos x y γ)	culombio por kilogramo	C/kg	kg^{-1} s A
tasa de dosis absorbida	gray por segundo	Gy/s	m^2 s^{-3}
intensidad radiante	vatio por estereorradián	W/sr	m^4 m^{-2} kg s^{-3} = m^2 kg s^{-3}
radiancia	vatio por metro cuadrado y estereorradián	W/(m^2 sr)	m^2 m^{-2} kg s^{-3} = kg s^{-3}
concentración de actividad catalítica	katal por metro cúbico	kat/m^3	m^{-3} s^{-1} mol

Los valores de varias magnitudes diferentes pueden expresarse mediante el mismo nombre y símbolo de unidad SI. De esta forma el julio por kelvin es el nombre de la unidad SI para la magnitud capacidad térmica así como para la magnitud entropía. Igualmente, el amperio es el nombre de la unidad SI tanto para la magnitud básica intensidad de corriente eléctrica como para la magnitud derivada fuerza magnetomotriz. Por lo tanto, y esto es importante, no basta con utilizar el nombre de la unidad para especificar la magnitud. Esta regla es aplicable no sólo a los textos científicos y técnicos sino también, por ejemplo, a los instrumentos de medida (es decir, deben indicar tanto la unidad como la magnitud medida).

Una unidad derivada puede expresarse de varias formas diferentes utilizando unidades básicas y unidades derivadas con nombres especiales: el julio, por ejemplo, puede escribirse newton metro o bien kilogramo metro cuadrado por segundo cuadrado. Esta libertad algebraica queda en todo caso limitada por consideraciones físicas de sentido común y, según las circunstancias, ciertas formas pueden resultar más útiles que otras.

En la práctica, para facilitar la distinción entre magnitudes diferentes que tienen la misma dimensión, se prefiere el uso de ciertos nombres especiales de unidades o combinaciones de nombres. Usando esta libertad, se pueden elegir expresiones que recuerden cómo está definida la magnitud. Por ejemplo, la magnitud momento de una fuerza puede considerarse como el resultado del producto vectorial de una fuerza por una distancia, lo que sugiere emplear la unidad newton metro, la energía por unidad de ángulo aconseja emplear la unidad julio por radián, etc. La unidad SI de frecuencia es el hercio, que implica ciclos por segundo, la unidad SI de velocidad angular es el radián por segundo y la unidad SI de actividad es el becquerel, que implica cuentas por segundo. Aunque sería formalmente correcto escribir estas tres unidades como segundo a la potencia menos uno, el empleo de nombres diferentes sirve para subrayar la diferente naturaleza de las magnitudes consideradas. El hecho de utilizar la unidad radián por segundo para expresar la velocidad angular y el hercio para la frecuencia, indica también que debe multiplicarse por 2π el valor numérico de la frecuencia en hercio para obtener el valor numérico de la velocidad angular correspondiente en radianes por segundo.

En el campo de las radiaciones ionizantes, la unidad SI de actividad es el becquerel en vez del segundo a la menos uno, y las unidades SI de dosis absorbida y dosis equivalente, respectivamente, son gray y sievert, en vez de julio por kilogramo. Los nombres especiales becquerel, gray y sievert se han introducido específicamente en atención a los peligros para la salud humana que podrían resultar de errores en el caso de que para identificar a todas estas magnitudes se empleasen las unidades segundo a la menos uno y julio por kilogramo.

El CIPM, reconociendo la importancia particular de las unidades en el campo de la sanidad, adoptó una texto detallado referente al sievert en la 5ª edición de esta publicación sobre el SI, Recomendación 1 (CI-1984), adoptado por el CIPM (PV, 1984, **52**, 31 y *Metrologia*, 1985, **21**, 90) y Recomendación 2 (CI-2002), adoptada por el CIPM (PV, **70**, 102), véanse pp. 72 y 79, respectivamente.

2.2.3 Unidades para magnitudes adimensionales, también denominadas magnitudes de dimensión uno

Ciertas magnitudes se definen por cociente de dos magnitudes de la misma naturaleza; son por tanto adimensionales, o bien su dimensión puede expresarse mediante el número uno. La unidad SI coherente de todas las magnitudes adimensionales o magnitudes de dimensión uno, es el número uno, dado que esta unidad es el cociente de dos unidades SI idénticas. El valor de estas magnitudes se expresa por números y la unidad “uno” no se menciona explícitamente. Como ejemplo de tales magnitudes, se pueden citar, el índice de refracción,

la permeabilidad relativa o el coeficiente de rozamiento. Hay otras magnitudes definidas como un producto complejo y adimensional de magnitudes más simples. Por ejemplo, entre los "números característicos" cabe citar el número de Reynolds $Re = \rho v l/\eta$, en donde ρ es la densidad, η la viscosidad dinámica, v la velocidad y l la longitud. En todos estos casos, la unidad puede considerarse como el número uno, unidad derivada adimensional.

Otra clase de magnitudes adimensionales son los números que representan una cuenta, como el número de moléculas, la degeneración (número de niveles de energía) o la función de partición en termodinámica estadística (número de estados accesibles térmicamente). Todas estas magnitudes de recuento se consideran adimensionales o de dimensión uno y tienen por unidad la unidad SI uno, incluso si la unidad de las magnitudes que se cuentan no puede describirse como una unidad derivada expresable en unidades básicas del SI. Para estas magnitudes, la unidad uno podría considerarse como otra unidad básica.

En algunos casos, sin embargo, a esta unidad se le asigna un nombre especial, a fin de facilitar la identificación de la magnitud en cuestión. Este es el caso del radián y del estereorradián. El radián y el estereorradián han recibido de la CGPM un nombre especial para la unidad derivada coherente uno, a fin de expresar los valores del ángulo plano y del ángulo sólido, respectivamente, y en consecuencia figuran en la Tabla 3.

3 Múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI

3.1 Prefijos SI

La 11ª CGPM (1960, Resolución 12; CR, 87) adoptó una serie de nombres y símbolos de prefijos para formar los nombres y símbolos de los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI desde 10^{12} hasta 10^{-12}. Los prefijos para 10^{-15} y 10^{-18} fueron añadidos por la 12ª CGPM (1964, Resolución 8; CR, 94), y para 10^{15} y 10^{18} por la 15ª CGPM (1975, Resolución 10; CR, 106 y *Metrologia*, 1975, **11**, 180-181). Asimismo, los prefijos para 10^{21}, 10^{24}, 10^{-21} y 10^{-24} se añadieron en la 19ª CGPM (1991, Resolución 4; CR, 97 y *Metrologia*, 1992, **29**, 3). La tabla 5 enumera los nombres y símbolos de los prefijos aprobados.

Los prefijos SI representan estrictamente potencias de 10. No deben utilizarse para expresar potencias de 2 (por ejemplo, un kilobit representa 1000 bits y no 1024 bits). Los prefijos adoptados por la IEC para las potencias binarias están publicados en la norma internacional IEC 60027-2: 2005, 3ª edición, *Símbolos literales a utilizar en electrotecnia – Parte 2: Telecomunicaciones y electrónica.* Los nombres y símbolos de los prefijos correspondientes a 2^{10}, 2^{20}, 2^{30}, 2^{40}, 2^{50} y 2^{60} son, respectivamente, kibi, Ki; mebi, Mi; gibi, Gi; tebi, Ti; pebi, Pi; y exbi, Ei. Así, por ejemplo, un kibibyte se escribe: 1 KiB = 2^{10} B = 1024 B, donde B representa al byte. Aunque estos prefijos no pertenecen al SI, deben emplearse en el campo de la tecnología de la información a fin de evitar un uso incorrecto de los prefijos SI.

Tabla 5. Prefijos SI

Factor	Nombre	Símbolo	Factor	Nombre	Símbolo
10^{1}	deca	da	10^{-1}	deci	d
10^{2}	hecto	h	10^{-2}	centi	c
10^{3}	kilo	k	10^{-3}	mili	m
10^{6}	mega	M	10^{-6}	micro	µ
10^{9}	giga	G	10^{-9}	nano	n
10^{12}	tera	T	10^{-12}	pico	p
10^{15}	peta	P	10^{-15}	femto	f
10^{18}	exa	E	10^{-18}	atto	a
10^{21}	zetta	Z	10^{-21}	zepto	z
10^{24}	yotta	Y	10^{-24}	yocto	y

Los símbolos de los prefijos se escriben en caracteres romanos (rectos), como los símbolos de las unidades, independientemente del tipo de letra del texto adyacente, y se unen a los símbolos de las unidades, sin dejar espacio entre el símbolo del prefijo y el de la unidad. Con excepción de da (deca), h (hecto) y k (kilo), todos los símbolos de prefijos de múltiplos se escriben con mayúsculas y todos los símbolos de prefijos de submúltiplos se escriben con minúsculas. Todos los nombres de los prefijos se escriben con minúsculas, salvo al comienzo de una frase.

Ejemplos de uso de prefijos:
pm (picómetro)
mmol (milimol)
GΩ (gigaohmio)
THz (terahertz)

El grupo formado por un símbolo de prefijo y un símbolo de unidad constituye un nuevo símbolo de unidad inseparable (formando un múltiplo o un submúltiplo de la unidad en cuestión) que puede ser elevado a una potencia positiva o negativa y que puede combinarse con otros símbolos de unidades compuestas.

Ejemplos: $2{,}3\ \mathrm{cm}^3 = 2{,}3\ (\mathrm{cm})^3 = 2{,}3\ (10^{-2}\ \mathrm{m})^3 = 2{,}3 \times 10^{-6}\ \mathrm{m}^3$

$1\ \mathrm{cm}^{-1} = 1\ (\mathrm{cm})^{-1} = 1\ (10^{-2}\ \mathrm{m})^{-1} = 10^{2}\ \mathrm{m}^{-1} = 100\ \mathrm{m}^{-1}$

$1\ \mathrm{V/cm} = (1\ \mathrm{V})/(10^{-2}\ \mathrm{m}) = 10^{2}\ \mathrm{V/m} = 100\ \mathrm{V/m}$

$5000\ \mu\mathrm{s}^{-1} = 5000\ (\mu\mathrm{s})^{-1} = 5000\ (10^{-6}\ \mathrm{s})^{-1} = 5 \times 10^{9}\ \mathrm{s}^{-1}$

Del mismo modo, los nombres de los prefijos son inseparables de los nombres de las unidades a las que se unen. Así, por ejemplo, milímetro, micropascal y meganewton se escriben en una sola palabra.

Los símbolos de prefijos compuestos; es decir, los símbolos de prefijos formados por yuxtaposición de dos o más símbolos de prefijos, no están permitidos. Esta regla se aplica también a los nombres de los prefijos compuestos.

nm (nanometro), ***pero no*** mμm (milimicrómetro)

Los símbolos de los prefijos no pueden utilizarse solos o unidos al número 1, símbolo de la unidad uno. Igualmente, los nombres de los prefijos no pueden unirse al nombre de la unidad uno, es decir a la palabra "uno".

El número de átomos de plomo en una muestra es igual a $N(\mathrm{Pb}) = 5 \times 10^6$, ***pero no*** $N(\mathrm{Pb}) = 5\ \mathrm{M}$, donde M representaría el prefijo mega.

Los nombres y símbolos de prefijos se emplean con algunas unidades fuera del SI (véase capítulo 5), pero nunca se utilizan con unidades de tiempo: minuto, min; hora, h; día, d. Los astrónomos usan el milisegundo de arco (o de grado), símbolo "mas", y el microsegundo de arco, símbolo "μas", como unidades de medida de ángulos muy pequeños.

3.2 El kilogramo

Entre las unidades básicas del Sistema Internacional, la unidad de masa es la única cuyo nombre, por razones históricas, contiene un prefijo. Los nombres y los símbolos de los múltiplos y submúltiplos decimales de la unidad de masa se forman añadiendo los nombres de los prefijos a la palabra "gramo" y los símbolos de estos prefijos al símbolo de la unidad "g" (CIPM 1967, Recomendación 2; PV, **35**, 29 y *Metrologia*, 1968, **4**, 45).

10^{-6} kg = 1 mg, ***pero no*** 1 μkg (microkilogramo)

4 Unidades no pertenecientes al SI

El Sistema Internacional de Unidades, SI, es un sistema de unidades adoptado por la CGPM, que proporciona las unidades de referencia aprobadas internacionalmente, en función de las cuales se definen todas las demás unidades. Se recomienda su utilización en la ciencia, la tecnología, la ingeniería y el comercio. Las unidades básicas del SI, y las unidades derivadas coherentes, incluyendo aquellas que tienen nombres especiales, tienen la importante ventaja de formar un conjunto coherente con el efecto de que no es necesario efectuar conversiones de unidades cuando se dan valores particulares a las magnitudes en las ecuaciones que las ligan. Como el SI es el único sistema de unidades reconocido a nivel mundial, ofrece la clara ventaja de establecer un lenguaje universal. En definitiva, si todos usan este sistema, se simplificará la enseñanza de la ciencia y de la tecnología en la próxima generación.

No obstante, es claro que ciertas unidades no pertenecientes al SI aún aparecen en publicaciones científicas, técnicas y comerciales y que continuarán en uso durante muchos años. Algunas unidades no pertenecientes al SI son de importancia histórica en la literatura; otras, como las unidades de tiempo y de ángulo, se encuentran tan ancladas en la historia y en la cultura humanas que seguirán siendo utilizadas en el futuro. Por otra parte, los científicos deben tener la libertad de utilizar a veces unidades no pertenecientes al SI, si lo consideran ventajoso para su trabajo; por ejemplo, la utilización de unidades CGS-Gauss para la teoría electromagnética aplicada a la electrodinámica cuántica y a la relatividad. Por estas razones, se considera útil establecer, en las tablas que siguen, listados de las unidades más importantes no pertenecientes al SI. Debe tenerse presente, sin embargo, que al emplear estas unidades, se pierden las ventajas del SI.

La inclusión de unidades no pertenecientes al SI en este texto no implica que se recomiende su uso. Por las razones que ya se han expuesto, en general es preferible el empleo de las unidades SI. También es deseable evitar el uso conjunto de unidades no pertenecientes al SI y de unidades SI; en especial, la combinación de unidades no pertenecientes al SI y de unidades SI, para la formación de unidades combinadas, debe restringirse a casos particulares, a fin de no perjudicar las propiedades del SI. Finalmente, cuando se usen las unidades no pertenecientes al SI que figuran en las Tablas 7, 8 y 9, es conveniente definirlas en función de las unidades SI correspondientes.

4.1 Unidades no pertenecientes al SI aceptadas para su uso con unidades SI, y unidades basadas en constantes fundamentales

El CIPM (2004) ha revisado la clasificación de unidades no pertenecientes al SI publicada en la 7ª edición de esta publicación. La Tabla 6 incluye las unidades no pertenecientes al SI cuyo uso con el Sistema Internacional está aceptado por la

CGPM, dado que son ampliamente utilizadas en la vida cotidiana. Su utilización podría prolongarse indefinidamente; cada una de ellas tiene una definición exacta en unidades SI. Las Tablas 7, 8 y 9 contienen unidades utilizadas únicamente en circunstancias particulares. Las unidades de la Tabla 7 están ligadas a las constantes fundamentales y su valor ha de determinarse experimentalmente. Las Tablas 8 y 9 contienen unidades que tienen un valor definido en función de unidades SI y que se utilizan en circunstancias particulares para satisfacer las necesidades de intereses comerciales, legales o científicos especializados. Es probable que estas unidades se sigan utilizando durante muchos años. Muchas de estas unidades son también importantes para la interpretación de textos científicos antiguos. A continuación se explican las Tablas 6, 7, 8 y 9.

La Tabla 6 incluye las unidades tradicionales de tiempo y de ángulo. Contiene también la hectárea, el litro y la tonelada, que son todas de uso corriente a nivel mundial, y que difieren de las unidades SI coherentes correspondientes en un factor igual a una potencia entera de diez. Los prefijos SI se emplean con varias de estas unidades, pero no con las unidades de tiempo.

Tabla 6. Unidades no pertenecientes al SI cuyo uso con el SI está aceptado

Magnitud	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad	Valor en unidades SI
tiempo	minuto	min	1 min = 60 s
	hora [a]	h	1 h = 60 min = 3600 s
	día	d	1 d = 24 h = 86 400 s
ángulo plano	grado [b, c]	º	1º = (π/180) rad
	minuto	’	1’ = (1/60)º = (π/ 10 800) rad
	segundo [d]	”	1” = (1/60)’ = (π/ 648 000) rad
área	hectárea [e]	ha	1 ha = 1 hm^2 = 10^4 m^2
volumen	litro [f]	L, l	1 L = 1 l = 1 dm^3 = 10^3 cm^3 = 10^{-3} m^3
masa	tonelada [g]	t	1 t = 10^3 kg

(*a*) El símbolo de esta unidad figura en la Resolución 7 de la 9ª CGPM (1948; CR, 70).

(*b*) La norma ISO 31 recomienda que el grado se divida de forma decimal, mejor que utilizando el minuto y el segundo. Sin embargo, para la navegación y la topografía, la ventaja de utilizar el minuto reside en el hecho de que un minuto de latitud en la superficie de la Tierra corresponde (aproximadamente) a una milla náutica.

(*c*) El gon (o grado centesimal, donde grado centesimal es el nombre alternativo de gon) es una unidad de ángulo plano alternativa al grado, definida como (π/200) rad. Un ángulo recto corresponde por tanto a 100 gon. El valor potencial del gon en la navegación es que la distancia entre el Polo y el Ecuador de la Tierra es igual a unos 10.000 km; 1 km en la superficie de la Tierra subtiende pues un ángulo de un centigón desde el centro de la Tierra. El gon es en todo caso raramente empleado [sí se emplea en el manejo de teodolitos y estaciones totales, en aplicaciones topográficas y de ingeniería civil (Nota del CEM)].

(*d*) En astronomía, los ángulos pequeños se miden en segundos de arco (es decir, segundos de ángulo plano), mili-, micro- o picosegundos de arco (símbolos: as o ”, mas, μas y pas, respectivamente). El segundo de arco o el segundo de grado son otros nombres del segundo de ángulo plano.

(*e*) La unidad hectárea y su símbolo fueron adoptados por el CIPM en 1879 (PV, 1879, 41). La hectárea se utiliza para expresar superficies agrarias.

(*f*) El litro y su símbolo en minúscula l fueron adoptados por el CIPM en 1879 (PV, 1879, 41). El símbolo alternativo, L mayúscula, fue adoptado por la 16ª Conferencia General (1979, Resolución 6; CR, 101 y *Metrologia,* 1980, **16**, 56-57) para evitar el riesgo de confusión entre la letra l (ele) y la cifra 1 (uno).

(*g*) La tonelada, y su símbolo t, fueron adoptados por el CIPM en 1879 (PV, 1879, 41). En los países de habla inglesa, esta unidad se designa generalmente como "tonelada métrica".

La Tabla 7 contiene unidades cuyos valores en unidades SI tienen que determinarse experimentalmente, y por tanto tienen una incertidumbre asociada. A excepción de la unidad astronómica, todas las unidades de la Tabla 7 están ligadas a constantes fundamentales de la física. El CIPM ha aceptado el uso con el SI de las tres primeras unidades de la tabla: el electronvoltio, símbolo eV, el dalton o unidad de masa atómica unificada, símbolo Da o u, y la unidad astronómica, símbolo ua. Las unidades de la Tabla 7 desempeñan un papel importante en un cierto número de campos especializados, en los que los resultados de medida y los cálculos se expresan más cómoda y útilmente mediante estas unidades. Para el electronvoltio y el dalton, los valores dependen de la carga eléctrica elemental e y de la constante de Avogadro N_A, respectivamente.

Existen muchas otras unidades de este tipo, dado que hay muchos campos en los que es más cómodo expresar los resultados de las observaciones experimentales o de los cálculos teóricos por medio de las constantes fundamentales de la naturaleza. Los dos sistemas de unidades más importantes basados en las constantes fundamentales son: el sistema de unidades naturales (u. n.), utilizado en el campo de la física de altas energías y de partículas, y el sistema de unidades atómicas (u. a.), utilizado en física atómica y en química cuántica. En el sistema de unidades naturales, las magnitudes básicas en mecánica son la velocidad, la acción y la masa, cuyas unidades básicas son la velocidad de la luz en el vacío c_0, la constante de Planck h dividida por 2π, denominada constante de Planck reducida, de símbolo $\hbar$, y la masa del electrón m_e, respectivamente. En general estas unidades no han recibido nombre especial ni símbolo particular, sino que simplemente se denominan unidad natural de velocidad, símbolo c_0, unidad natural de acción, símbolo $\hbar$, y unidad natural de masa, símbolo m_e. En este sistema el tiempo es una magnitud derivada y la unidad natural de tiempo es una unidad derivada igual a la combinación de unidades básicas $\hbar/m_e c_0^2$. Análogamente, en el sistema de unidades atómicas, cualesquiera cuatro de las cinco magnitudes: carga, masa, acción, longitud y energía, se considera como conjunto de magnitudes básicas. Las unidades básicas correspondientes son e para la carga eléctrica elemental, m_e para la masa del electrón, $\hbar$ para la acción, a_0 (o bohr) para el radio de Bohr y E_h (o hartree) para la energía de Hartree, respectivamente. En este sistema, el tiempo también es una magnitud derivada y la unidad atómica de tiempo es una unidad derivada, igual a $\hbar/E_h$. Obsérvese que $a_0 = \alpha/(4\pi R_\infty)$, donde α es la constante de estructura fina y R_∞ es la constante de Rydberg, y que $E_h = e^2/(4\pi\varepsilon_0 a_0) = 2R_\infty hc_0 = \alpha^2 m_e c_0^2$, donde ε_0 es la constante dieléctrica (la permitividad del vacío); ε_0 tiene un valor exacto en el SI.

Como información, estas diez unidades naturales y atómicas y su valor en unidades SI figuran en la Tabla 7. Dado que los sistemas de magnitudes sobre los que se basan estas unidades difieren de forma fundamental del SI, generalmente no se emplean con

el SI y el CIPM no las ha aceptado oficialmente para poder utilizarlas con el Sistema Internacional. Para una buena comprensión, el resultado final de una medida o de un cálculo expresado en unidades naturales o atómicas debe también indicarse siempre en la unidad SI correspondiente. Las unidades naturales (u. n.) y las unidades atómicas (u. a.) se emplean únicamente en los campos particulares de la física de partículas, de la física atómica y de la química cuántica. Las incertidumbres típicas de las últimas cifras significativas figuran entre paréntesis después de cada valor numérico.

Tabla 7. Unidades no pertenecientes al SI cuyo valor en unidades SI se obtiene experimentalmente

Magnitud	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad	Valor en unidades SI [(a)]
	Unidades utilizadas con el SI		
energía	electronvoltio [(b)]	eV	1 eV = 1,602 176 53 (14) × 10^{-19} J
masa	dalton, [(c)]	Da	1 Da = 1,660 538 86 (28) × 10^{-27} kg
	unidad de masa atómica unificada	u	1 u = 1 Da
longitud	unidad astronómica [(d)]	ua	1 ua = 1,495 978 706 91 (6) × 10^{11} m
	Unidades naturales (u. n.)		
velocidad	unidad natural de velocidad (velocidad de la luz en el vacío)	c_0	299 792 458 m/s (exacto)
acción	unidad natural de acción (constante de Planck reducida)	$\hbar$	1,054 571 68 (18) × 10^{-34} J s
masa	unidad natural de masa (masa del electrón)	m_e	9,109 3826 (16) × 10^{-31} kg
tiempo	unidad natural de tiempo	$\hbar/(m_e c_0^2)$	1,288 088 6677 (86) × 10^{-21} s
	Unidades atómicas (u. a.)		
carga	unidad atómica de carga, (carga eléctrica elemental)	e	1,602 176 53 (14) × 10^{-19} C
masa	unidad atómica de masa, (masa del electrón)	m_e	9,109 3826 (16) × 10^{-31} kg
acción	unidad atómica de acción, (constante de Planck reducida)	$\hbar$	1,054 571 68 (18) × 10^{-34} J s
longitud	unidad atómica de longitud, bohr (radio de Bohr)	a_0	0,529 177 2108 (18) × 10^{-10} m
energía	unidad atómica de energía, hartree (energía de Hartree)	E_h	4,359 744 17 (75) × 10^{-18} J
tiempo	unidad atómica de tiempo	$\hbar/E_h$	2,418 884 326 505 (16) × 10^{-17} s

(*a*) Los valores en unidades SI de todas las unidades de la tabla, excepto la unidad astronómica, provienen de la relación de valores de constantes fundamentales recomendados por CODATA en 2002, publicada por P.J. Mohr y B.N. Taylor, *Rev. Mod. Phys*., 2005, **77**, 1-107. La incertidumbre típica referida a las dos últimas cifras se indica entre paréntesis (véase 5.3.5, p. 45).

(*b*) El electronvoltio es la energía cinética adquirida por un electrón tras atravesar una diferencia de potencial de 1V en el vacío. El electronvoltio se combina a menudo con los prefijos SI.

(*c*) El dalton (Da) y la unidad de masa atómica unificada (u) son otros nombres (y símbolos) para la misma unidad, igual a 1/12 de la masa del átomo de ^{12}C libre, en reposo y en su estado fundamental. El dalton se combina a menudo con prefijos SI, por ejemplo para expresar la masa de grandes moléculas en kilodaltons, kDa o megadaltons, MDa y para expresar el valor de pequeñas diferencias de masa de átomos o de moléculas en nanodaltons, nDa, e incluso en picodaltons, pDa.

(*d*) La unidad astronómica es aproximadamente igual a la distancia media entre el Sol y la Tierra. Es el radio de una órbita newtoniana circular no perturbada alrededor del Sol, de una partícula de masa infinitesimal, desplazándose a una velocidad media de 0,017 202 098 95 radianes por día (llamada también constante de Gauss). El valor de la unidad astronómica lo estableció la Convención de la IERS 2003 (D.D. McCarthy y G. Petit eds., *IERS Technical Note* 32, Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2004, 12). El valor de la unidad astronómica en metros procede de JPL ephemerides DE403 (Standish E.M., Report del IAU WGAS Sub-Group on Numerical Standards, *Highlights of Astronomy*, Appenzeller ed., Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995, 180-184).

Las Tablas 8 y 9 contienen unidades no pertenecientes al SI utilizadas para responder a necesidades específicas de ciertos grupos, por diferentes razones. Aunque es preferible emplear las unidades SI por las razones ya expuestas anteriormente, quienes vean una ventaja particular en usar estas unidades no pertenecientes al SI, pueden hacerlo libremente si las consideran más adecuadas a sus propósitos. No obstante, como las unidades SI son la base internacional a partir de la cual se definen todas las demás unidades, quienes empleen las unidades de las Tablas 8 y 9 deben indicar siempre su definición en unidades SI.

La Tabla 8 cita también las unidades de las magnitudes logarítmicas, el neper, el belio y el decibelio. Estas son unidades adimensionales, de naturaleza algo diferente a otras unidades adimensionales y algunos científicos consideran que no se deberían llamar unidades. Se emplean para proporcionar información sobre la naturaleza logarítmica del cociente de magnitudes. El neper, Np, se utiliza para expresar el valor de los logaritmos neperianos (o naturales) de relaciones entre magnitudes, $\ln = \log_e$. El belio y el decibelio, B y dB, 1 dB = (1/10) B, se emplean para expresar el valor de logaritmos de base 10 de cocientes entre magnitudes, $\lg = \log_{10}$. La forma de interpretar estas unidades se indica en las notas (*g*) y (*h*) de la Tabla 8. No suele ser necesario dar un valor numérico de estas unidades. Las unidades neper, belio y decibelio fueron aceptadas para su uso con el SI por el CIPM, pero no se consideran unidades SI.

Los prefijos SI se utilizan con dos de las unidades de la Tabla 8, a saber con el bar (por ejemplo milibar, mbar) y con el belio, en particular el decibelio, dB. En la tabla se menciona explícitamente el decibelio, ya que el belio raramente se usa sin este prefijo.

Tabla 8. Otras unidades no pertenecientes al SI

Magnitud	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad	Valor en unidades SI
presión	bar [a]	bar	1 bar = 0,1 MPa = 100 kPa = 10^5 Pa
	milímetro de mercurio [b]	mmHg	1 mmHg ≈ 133,322 Pa
longitud	ångström [c]	Å	1 Å = 0,1 nm = 100 pm = 10^{-10} m
distancia	milla naútica [d]	M	1 M = 1852 m
superficie	barn [e]	b	1 b = 100 fm^2 = $(10^{-12}\ cm)^2$ = $10^{-28}\ m^2$
velocidad	nudo [f]	kn	1 kn = (1852/3600) m/s
logaritmo	neper [g, i]	Np	[véase la nota (*j*) respecto al valor
de un cociente	belio [h, i]	B	numérico del neper, del belio y del
	decibelio [h, i]	dB	decibelio]

(*a*) El bar y su símbolo fueron incluidos en la Resolución 7 de la 9ª CGPM (1948; CR, 70). Desde 1982 todos los datos termodinámicos se refieren a la presión normal de un bar. Antes de 1982, la presión normal era la atmósfera normal, igual a 1,013 25 bar o 101 325 Pa.

(*b*) El milímetro de mercurio es la unidad legal para la medida de la tensión sanguínea en ciertos países.

(*c*) El ångström se utiliza ampliamente en la cristalografía de rayos x y en química estructural porque todos los enlaces químicos se encuentran en el rango de 1 a 3 ångströms. Sin embargo, el ångström no ha sido sancionado oficialmente por el CIPM ni por la CGPM.

(*d*) La milla náutica es una unidad empleada en navegación marítima y aérea para expresar distancias. El valor convencional fue adoptado por la *Première Conférence hydrographique internationale extraordinaire*, Mónaco 1929, con el nombre de "milla náutica internacional". No hay símbolo acordado a nivel internacional, pero se usan los símbolos M, NM, Nm y nmi; en la Tabla 8 sólo se indica el símbolo M. Esta unidad se estableció en su origen, y aún continúa empleándose así, porque una milla náutica en la superficie de la Tierra subtiende aproximadamente un minuto de ángulo desde el centro de la Tierra, lo que resulta conveniente cuando se miden la latitud y la longitud en grados y minutos de ángulo.

(*e*) El barn es una unidad de superficie empleada en física nuclear para caracterizar secciones eficaces.

(*f*) El nudo se define como una milla náutica por hora. No hay símbolo acordado a nivel internacional, pero se usa habitualmente el símbolo kn.

(*g*) La igualdad $L_A = n$ Np (donde n es un número) ha de interpretarse con el significado $\ln(A_2/A_1) = n$. Así cuando $L_A = 1$ Np, $A_2/A_1 = \mathrm{e}$. El símbolo A se usa aquí para designar la amplitud de una señal senoidal y L_A como el logaritmo neperiano de un cociente de amplitudes o diferencia neperiana de un nivel de amplitudes.

(*h*) La igualdad $L_X = m$ dB = $(m/10)$ B (donde m es un número) ha de interpretarse con el significado $\lg(X/X_0) = m/10$. Así cuando $L_X = 1$ B, $X/X_0 = 10$ y cuando $L_X = 1$ dB, $X/X_0 = 10^{1/10}$. Si X representa una señal cuadrática media o una magnitud de tipo potencial, L_X se denomina nivel de potencia respecto a X_0.

(*i*) Cuando se usan estas unidades, es importante indicar cuál es la naturaleza de la magnitud en cuestión y el valor de referencia empleado. Estas unidades no son unidades SI, pero el CIPM acepta su uso con el SI.

(*j*) No suele ser necesario precisar los valores numéricos del neper, del belio y del decibelio (ni por tanto la relación del belio y del decibelio al neper). Ello depende de la forma en que se definan las magnitudes logarítmicas.

La Tabla 9 difiere de la Tabla 8 en que las unidades mencionadas en la Tabla 9 están referidas a las antiguas unidades del sistema CGS (centímetro, gramo, segundo) incluyendo las unidades eléctricas CGS. En el dominio de la mecánica, el sistema de unidades CGS se basaba en tres magnitudes y sus unidades básicas correspondientes: el centímetro, el gramo y el segundo. Las unidades eléctricas CGS se derivaban también de las tres unidades básicas, por medio de ecuaciones de definición diferentes de las empleadas en el SI. Como se podía hacer de diferentes formas, ello llevó al establecimiento de varios sistemas diferentes: el CGS-UES (electrostático), el CGS-UEM (electromagnético) y el sistema de unidades CGS-Gaussiano. Siempre se ha reconocido que el sistema CGS-Gaussiano, en particular, presenta ventajas en ciertos dominios de la física, como la electrodinámica clásica y relativista (9ª CGPM, 1948, Resolución 6). La Tabla 9 incluye las relaciones entre las unidades CGS y el SI, así como la lista de las unidades CGS que han recibido un nombre especial. Al igual que para las unidades de la Tabla 8, los prefijos SI se usan con varias de estas unidades (por ejemplo milidina, mdyn; miligauss, mG, etc.).

Tabla 9. Unidades no pertenecientes al SI, asociadas a los sistemas de unidades CGS y CGS-Gaussiano

Magnitud	Nombre de la unidad	Símbolo de la unidad	Valor en unidades SI
energía	ergio [(a)]	erg	1 erg = 10^{-7} J
fuerza	dina [(a)]	dyn	1 dyn = 10^{-5} N viscosidad
dinámica	poise [(a)]	P	1 P = 1 dyn s cm^{-2} = 0,1 Pa s
viscosidad cinemática	stokes	St	1 St = 1 cm^2 s^{-1} = 10^{-4} m^2 s^{-1}
luminancia luminosa	stilb [(a)]	sb	1 sb = 1 cd cm^{-2} = 10^4 cd m^{-2}
radiación luminosa	phot	ph	1 ph = 1 cd sr cm^{-2} = 10^4 lx
aceleración	gal [(b)]	Gal	1 Gal = 1 cm s^{-2} = 10^{-2} m s^{-2}
flujo magnético [(e)]	maxwell [(c)]	Mx	1 Mx = 1 G cm^2 = 10^{-8} Wb
densidad de flujo magnético [(d)]	gauss [(c)]	G	1 G = 1 Mx/cm^{-2} = 10^{-4} T
campo magnético	œrsted [(e)]	Oe	1 Oe $\hat{=}$ ($10^3/4\pi$) A m^{-1}

(*a*) Esta unidad y su símbolo están incluidos en la Resolución 7 de la 9ª CGPM (1948; CR, 70).

(*b*) El gal es una unidad empleada en geodesia y geofísica para expresar la aceleración debida a la gravedad.

(*c*) Estas unidades forman parte del sistema CGS tridimensional "electromagnético", basado en ecuaciones de magnitudes no racionalizadas, por lo que deben compararse con cuidado con las unidades correspondientes del Sistema Internacional, que se basan en ecuaciones racionalizadas con cuatro dimensiones y cuatro magnitudes en electromagnetismo. El flujo magnético Φ y la inducción magnética B se definen mediante ecuaciones similares en el sistema CGS y en el SI, lo que permite relacionar las unidades correspondientes de la tabla. Sin embargo, el campo magnético H (no racionalizado) es igual a $4\pi \times H$ (racionalizado). El símbolo de equivalencia $\triangleq$ se usa para indicar que cuando H (no racionalizado) = 1 Oe, H (racionalizado) = ($10^3/4\pi$) A m^{-1}.

4.2 Otras unidades no pertenecientes al SI, cuyo uso no se recomienda

Hay muchas más unidades no pertenecientes al SI, demasiado numerosas para poderlas citar aquí, que presentan un interés histórico o que son utilizadas todavía en campos especializados (por ejemplo, el barril de petróleo) o en ciertos países (como la pulgada, el pie o la yarda). El CIPM no ve ninguna razón para continuar empleando estas unidades en los trabajos científicos y técnicos modernos. Sin embargo, es importante conocer la relación entre estas unidades y las unidades SI correspondientes, lo cual seguirá siendo necesario durante muchos años. Por ello, el CIPM ha decidido preparar una lista de factores de conversión a unidades SI para estas unidades y hacerlo accesible en la página web del BIPM en la dirección:

www.bipm.org/fr/si/si_brochure/chapter4/conversion_factors.html.

5 Reglas de escritura de los nombres y símbolos de las unidades, y expresión de los valores de las magnitudes

Los principios generales referentes a la escritura de los símbolos de las unidades y de los nombres fueron propuestos durante la 9ª CGPM (1948, Resolución 7). Posteriormente fueron adoptados por la ISO, la CEI y por otras organizaciones internacionales. Como resultado, existe en la actualidad un consenso general sobre cómo deben expresarse los símbolos y nombres de unidades, incluyendo los símbolos y nombres de los prefijos, y los símbolos y valores de las magnitudes. El respeto de estas reglas y convenciones de estilo, las más importantes de las cuales se presentan en este capítulo, facilita la lectura de los artículos científicos y técnicos.

5.1 Símbolos de las unidades

Los símbolos de las unidades se imprimen en caracteres romanos (rectos), independientemente del tipo de letra empleada en el texto adyacente. Se escriben en minúsculas excepto si derivan de un nombre propio, en cuyo caso la primera letra es mayúscula.

m, metro
s, segundo
Pa, pascal
Ω, ohmio

Una excepción, adoptada por la 16ª CGPM (1979, Resolución 6), es que se permite el uso de la letra L en mayúscula o l en minúscula como símbolos del litro, a fin de evitar la confusión entre la cifra 1 (uno) y la letra l (ele).

L ó l, litro

Un prefijo de múltiplo o submúltiplo, si se usa, forma parte de la unidad y precede al símbolo de la unidad, sin espacio entre el símbolo del prefijo y el símbolo de la unidad. Un prefijo nunca se usa solo y nunca se usan prefijos compuestos.

nm, ***pero no*** mμm

75 cm de longitud,
pero no 75 cm. de longitud

Los símbolos de las unidades son entidades matemáticas y no abreviaturas. Por tanto, no van seguidos de un punto, salvo al final de una frase, ni se usa el plural, ni se pueden mezclar símbolos de unidades con nombres de unidades en una misma expresión, pues los nombres no son entidades matemáticas.

l = 75 cm,
pero no 75 cms

culombio por kilogramo,
pero no culombio por kg

Para formar los productos y cocientes de los símbolos de las unidades, se aplican las reglas habituales de multiplicación o de división algebraicas. La multiplicación debe indicarse mediante un espacio o un punto centrado a media altura (·), para evitar que ciertos prefijos se interpreten erróneamente como un símbolo de unidad. La división se indica mediante una línea horizontal, una barra oblicua (/), o mediante exponentes negativos. Cuando se combinan varios símbolos de unidades, hay que tener cuidado para evitar toda ambigüedad, por ejemplo utilizando corchetes o paréntesis, o exponentes negativos. En una expresión dada sin paréntesis, no debe utilizarse más de una barra oblicua, para evitar ambigüedades.

N m ó N·m
para newton metro
m/s ó $\frac{m}{s}$ ó m s^{-1},
para metro por segundo

ms, milisegundo m
s, metro segundo

m kg/(s^3 A),
ó m kg s^{-3-1} A,
pero no m kg/s^3/A,
ni m kg/s^3 A

No se permite emplear abreviaturas para los símbolos y nombres de las unidades, como seg (por s o segundo), mm cuad. (por mm^2 o milímetro cuadrado), cc (por cm^3 o centímetro cúbico) o mps (por m/s o metro por segundo). El uso correcto de los símbolos de las unidades SI y de las unidades en general, como se ha dicho en los

capítulos anteriores de este texto, es obligatorio. De esta forma se evitan ambigüedades y malentendidos respecto a los valores de las magnitudes.

5.2 Nombres de las unidades

Los nombres de las unidades se imprimen en caracteres romanos (rectos) y se consideran como nombres (sustantivos) comunes. En español, los nombres de unidades empiezan por minúscula (incluso cuando el símbolo de la unidad comience por mayúscula), salvo que se encuentren situados al comienzo de una frase o en un texto en mayúsculas, como un título. Para cumplir esta regla, la escritura correcta del nombre de la unidad cuyo símbolo es °C es "grado Celsius" (la unidad grado comienza por la letra g en minúscula y el atributo Celsius comienza por la letra C en mayúscula, por que es un nombre propio).

nombre de unidad	**símbolo**
julio	J
hercio	Hz
metro	m
segundo	s
amperio	A
vatio	W

Aunque los valores de las magnitudes se expresan generalmente mediante los nombres y símbolos de las unidades, si por cualquier razón resulta más apropiado el nombre de la unidad que su símbolo, debe escribirse el nombre de la unidad completo.

2,6 m/s,
o 2,6 metros por segundo

Cuando el nombre de la unidad está combinado con el prefijo de un múltiplo o submúltiplo, no se deja espacio ni se coloca guión entre el nombre del prefijo y el de la unidad. El conjunto formado por el nombre del prefijo y el de la unidad constituye una sola palabra (véase *también* el capítulo 3, sección 3.1, p. 32).

miligramo,
pero no mili-gramo

kilopascal,
pero no kilo-pascal

En español, sin embargo, cuando el nombre de una unidad derivada se forma por multiplicación de nombres de unidades individuales, conviene dejar un espacio, un punto centrado a media altura (·), o colocar un guión para separar el nombre de cada unidad.

pascal segundo, o
pascal-segundo

Asimismo en español, las denominaciones del tipo "cuadrado" o "cúbico", utilizadas con los nombres de las unidades elevadas a las potencias correspondientes, se colocan detrás del nombre de la unidad.

metro por segundo cuadrado,
centímetro cuadrado, milímetro cúbico,
amperio por metro cuadrado,
kilogramo por metro cúbico

5.3 Reglas y convenios de estilo para expresar los valores de las magnitudes

5.3.1 Valor y valor numérico de una magnitud; cálculo de magnitudes

El valor de una magnitud se expresa como el producto de un número por una unidad; el número que multiplica a la unidad es el valor numérico de la magnitud expresada en esa unidad. El valor numérico de una magnitud depende de la unidad elegida. Así, el valor de una magnitud particular es independiente de la elección de unidad, pero su valor numérico es diferente para unidades diferentes.

El valor de la velocidad de una partícula $v = \mathrm{d}x/\mathrm{d}t$ puede indicarse mediante las expresiones
$v = 25\ \mathrm{m/s} = 90\ \mathrm{km/h}$,
donde 25 es el valor numérico de la velocidad expresada en la unidad metro por segundo y 90 cuando se expresa en kilómetros por hora.

Los símbolos de las magnitudes están formados generalmente por una sola letra en cursiva, pero puede especificarse información adicional mediante subíndices, superíndices o entre paréntesis. Así C es el símbolo recomendado para la capacidad calorífica, C_m para la capacidad calorífica molar, $C_{\mathrm{m},p}$ para la capacidad calorífica molar a presión constante y $C_{\mathrm{m},V}$ para la capacidad calorífica molar a volumen constante.

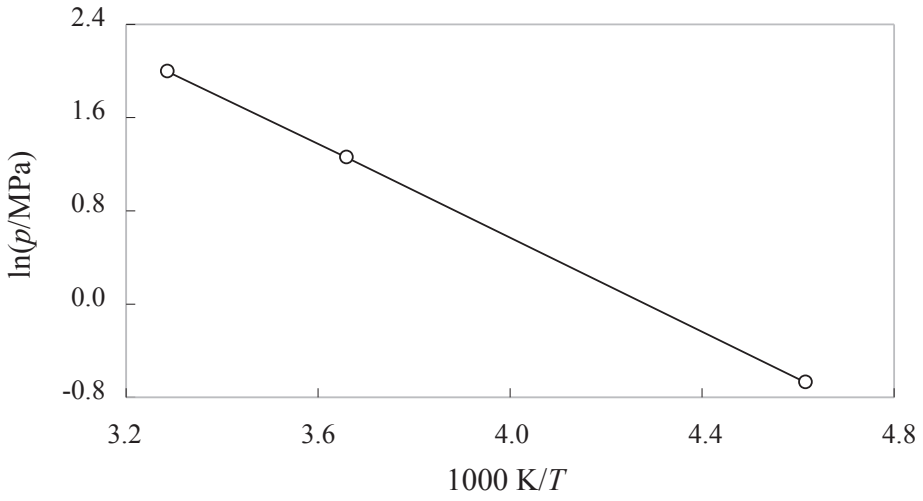
Los nombres y símbolos recomendados para las magnitudes se encuentran en numerosas obras de referencia, tales como la norma ISO 31 *Magnitudes y Unidades*, el "libro rojo" de la IUPAP SUNAMCO, *Símbolos, Unidades y Nomenclatura en*

Física, y el "libro verde" de la IUPAC, *Magnitudes, Unidades y Símbolos en Química Física*. Sin embargo, los símbolos de las magnitudes sólo son recomendaciones, mientras que es obligatorio emplear los símbolos correctos de las unidades. En circunstancias particulares, los autores pueden preferir usar un símbolo de su elección para una magnitud dada, por ejemplo para evitar una confusión resultante del uso del mismo símbolo para dos magnitudes distintas. En esos casos, hay que precisar claramente qué significa el símbolo. Sin embargo, ni el nombre de una magnitud ni el símbolo empleado para expresarla, implican la elección de una unidad en particular.

Los símbolos de las unidades se tratan como entidades matemáticas. Cuando se expresa el valor de una magnitud como producto de un valor numérico por una unidad, el valor numérico y la unidad pueden tratarse de acuerdo con las reglas ordinarias del álgebra. Este procedimiento constituye el cálculo de magnitudes, o álgebra de magnitudes. Por ejemplo, la ecuación $T = 293$ K puede escribirse también como $T/\mathrm{K} = 293$. Puede resultar cómodo escribir de esta forma el cociente entre una magnitud y una unidad en la cabecera de una tabla, tal que las entradas de la tabla sean simplemente números. Por ejemplo, una tabla que presente la presión de vapor en función de la temperatura y el logaritmo neperiano de la presión de vapor en función de la temperatura, a la potencia menos uno, podría adoptar la siguiente forma:

T/K	10^3 K/T	p/MPa	ln(p/MPa)
216,55	4,6179	0,5180	−0,6578
273,15	3,6610	3,4853	1,2486
304,19	3,2874	7,3815	1,9990

Los ejes de un gráfico pueden también etiquetarse de este modo, de forma que las graduaciones sean puramente numéricas, como se indica en la figura de abajo.



Desde el punto de vista algebraico podrían emplearse otras formas equivalentes a 10^3 K/T, como por ejemplo kK/T, ó $10^3\,(T/\mathrm{K})^{-1}$.

5.3.2 Símbolos de magnitudes y símbolos de unidades

Al igual que el símbolo de una magnitud no implica la elección de una unidad particular, el símbolo de la unidad no debe utilizarse para proporcionar información específica sobre la magnitud y no debe nunca ser la única fuente de información respecto de la magnitud. Las unidades no deben ser modificadas con información adicional sobre la naturaleza de la magnitud; este tipo de información debe acompañar al símbolo de la magnitud y no al de la unidad.

Así:
La diferencia máxima de potencial eléctrico se indica de la forma:
$U_{max} = 1000$ V
pero no $U = 1000\ V_{max}$.

La fracción másica de cobre en una muestra de silicio se indica de la forma:
$w(Cu) = 1{,}3 \times 10^{-6}$
pero no $1{,}3 \times 10^{-6}$ w/w.

5.3.3 Escritura del valor de una magnitud

El valor numérico precede siempre a la unidad y siempre se deja un espacio entre el número y la unidad. Así, el valor de una magnitud es el producto de un número por una unidad, considerándose el espacio como signo de multiplicación (igual que el espacio entre unidades). Las únicas excepciones a esta regla son los símbolos de unidad del grado, el minuto y el segundo de ángulo plano, °, ′ y ″, respectivamente, para los cuales no se deja espacio entre el valor numérico y el símbolo de unidad.

m = 12,3 g donde *m* se emplea como símbolo de la magnitud masa, pero *φ* = 30° 22′ 8″, donde *φ* se emplea como símbolo de la magnitud ángulo plano.

Esta regla implica que el símbolo °C para el grado Celsius debe ir precedido de un espacio para expresar el valor de la temperatura Celsius *t*.

t = 30,2 Cº,
pero no *t* = 30,2 Cº,
ni *t* = 30,2 Cº

En cualquier expresión, sólo se emplea una unidad. Una excepción a esta regla es la expresión de los valores de tiempo y ángulo plano expresados mediante unidades fuera del SI. Sin embargo, para ángulos planos, es preferible generalmente dividir el grado de forma decimal. Así, se escribirá 22,20° mejor que 22° 12′, salvo en campos como la navegación, la cartografía, la astronomía, y para la medida de ángulos muy pequeños.

l = 10,234 m,
pero no
l = 10 m 23,4 cm

5.3.4 Escritura de los números y del separador decimal

El símbolo utilizado para separar la parte entera de su parte decimal se denomina "separador decimal". Desde la 22ª Conferencia General (2003, Resolución 10), "el símbolo del separador decimal puede ser el punto o la coma, en la propia línea de escritura El separador decimal elegido será el de uso corriente en el contexto en cuestión.

Si el número está comprendido entre +1 y −1, el separador decimal va siempre precedido de un cero.

−0,234,
pero no −,234

Desde la 9ª Conferencia General (1948, Resolución 7) y la 22ª Conferencia General (2003, Resolución 10), los números con muchas cifras pueden repartirse en grupos de tres cifras separadas por un espacio, a fin de facilitar la lectura. Estos grupos no se separan nunca por puntos ni por comas. Sin embargo, cuando no hay más que cuatro cifras delante o detrás del separador decimal, es usual no separar una cifra mediante un espacio. La práctica de agrupar de esta manera las cifras queda a elección personal; no siempre se sigue en ciertos campos especializados como el dibujo industrial, los documentos financieros y los escritos que ha de leer un ordenador.

43 279,168 29,
pero no 43.279,168.29

En los números de una tabla, el formato no debe variar en una misma columna.

3279,1683
o 3 279,168 3

5.3.5 Expresión de la incertidumbre de medida asociada al valor de una magnitud

La incertidumbre asociada al valor estimado de una magnitud debe evaluarse y expresarse de acuerdo con la *Guía para la expresión de la incertidumbre de medida*

[ISO, 1995]. La incertidumbre típica, es decir, la desviación típica estimada (correspondiente a un factor de cobertura $k = 1$), asociada a una magnitud x se designa como $u(x)$. Una forma cómoda de representar la incertidumbre es, por ejemplo:

$$m_n = 1{,}674\ 927\ 28\ (29) \times 10^{-27}\ \text{kg}.$$

donde m_n es el símbolo de la magnitud (en este caso la masa del neutrón) y el número entre paréntesis el valor numérico de la incertidumbre típica referida a las dos últimas cifras del valor estimado de m que para este caso es:

$$u(m_n) = 0{,}000\ 000\ 29 \times 10^{-27}\ \text{kg}.$$

Si se usa un factor de cobertura k distinto de 1, es necesario indicarlo.

5.3.6 Multiplicación y división de símbolos de magnitudes, valores de magnitudes y números

Para multiplicar o dividir los símbolos de magnitudes, puede emplearse cualquiera de las formas escritas siguientes: ab, $a\ b$, $a{\cdot}b$, $a \times b$, a/b, $\frac{a}{b}$, $a\ b^{-1}$.

Cuando se multiplican valores de magnitudes, es conveniente utilizar bien un signo de multiplicación, ×, bien paréntesis (o corchetes), pero no el punto a media altura (centrado). Cuando se multipliquen números, debería utilizarse únicamente el signo de multiplicación, ×.

Cuando se dividen valores de magnitudes mediante una barra oblicua, se emplean paréntesis para evitar toda ambigüedad.

Ejemplos:

$F = ma$ para una fuerza igual a la masa multiplicada por la aceleración

(53 m/s) × 10,2 s
ó (53 m/s)(10,2 s)

25 × 60,5
pero no 25 · 60,5

(20 m)/(5 s) = 4 m/s

(a/b)/c, ***pero no*** $a/b/c$

5.3.7 Valores de las magnitudes sin dimensión, o magnitudes de dimensión uno

Como se vió en la sección 2.2.3, la unidad SI coherente de las magnitudes sin dimensión o magnitudes de dimensión uno, es el número uno, símbolo 1. Los valores de estas magnitudes se expresan simplemente mediante números. El símbolo de unidad 1 o el nombre de unidad "uno" no se menciona explícitamente y no existe símbolo particular ni nombre especial para la unidad uno, salvo algunas excepciones que se indican a continuación. Para la magnitud ángulo plano, la unidad toma el nombre especial radián, símbolo rad y para la magnitud ángulo sólido, toma el nombre especial estereorradián, símbolo sr. Para los logaritmos de cocientes de magnitudes, se emplean los nombres especiales neper, símbolo Np, belio, símbolo B y decibelio, símbolo dB (véase 4.1 y Tabla 8, p 39).

$n = 1{,}51$,
pero no $n = 1{,}51 \times 1$,
donde n es el símbolo de la magnitud índice de refracción.

Como los símbolos de los prefijos SI no pueden unirse al símbolo 1 ni al nombre de unidad "uno", para expresar los valores de magnitudes adimensionales particularmente grandes o particularmente pequeñas se emplean las potencias de 10.

En las expresiones matemáticas, el símbolo % (por ciento), reconocido internacionalmente, puede utilizarse con el SI para representar al número 0,01. Por lo tanto, puede usarse para expresar los valores de magnitudes sin dimensión. Cuando se emplea, conviene dejar un espacio entre el número y el símbolo %. Cuando se expresan de esta forma los valores de magnitudes adimensionales, es preferible utilizar el símbolo % mejor que la expresión "por ciento".

$x_B = 0{,}0025 = 0{,}25\ \%$,
donde x_B es el símbolo de la magnitud fracción de cantidad (fracción molar) de la entidad B.

En un texto escrito, el símbolo % significa en general "partes en cien".

El espejo refleja un 95 % de los fotones incidentes.

No deben utilizarse expresiones del tipo “porcentaje de masa”, “porcentaje de volumen”, “porcentaje de cantidad de sustancia”; las informaciones sobre la magnitud en cuestión deben proporcionarse mediante el nombre y el símbolo de la magnitud.

$\varphi = 3{,}6\ \%$,
pero no $\varphi = 3{,}6\ \%\ (V/V)$,
donde φ es la fracción en volumen.

Cuando se expresan valores de fracciones adimensionales (por ejemplo fracción másica, fracción en volumen, incertidumbre relativa, etc.), a veces resulta útil emplear el cociente entre dos unidades del mismo tipo.

$x_B = 2{,}5 \times 10^{-3}$
$= 2{,}5$ mmol/mol

El término “ppm” que significa 10^{-6} en valor relativo o 1×10^{-6} o “partes por millón” o millonésimas, se usa también. Los términos “partes por billón” y “partes por trillón” y sus abreviaturas respectivas “ppb” y “ppt”, se emplean también, pero su significado varía según el idioma, por lo cual es preferible evitarlos. (Aunque en los países de lengua inglesa el término “billón” corresponde a 10^9 y el término “trillón” a 10^{12}, el término “billón” puede a veces corresponder a 10^{12} y “trillón” a 10^{18}. La abreviatura ppt es también a veces entendida en los países angloparlantes como una parte por millar (o milésima), lo que supone aún más confusión).

$u_r(U) = 0{,}3\ \mu V/V$,
donde $u_r(U)$ es la incertidumbre relativa de la tensión medida U.

Cuando se emplea alguno de los términos %, ppm, etc., es importante declarar cuál es la magnitud sin dimensión cuyo valor se está especificando.

Anexo 1. Decisiones de la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) y del Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM)

Este anexo recoge las decisiones de la CGPM y del CIPM que afectan directamente a las definiciones de las unidades SI, los prefijos a emplear con el SI y las convenciones relativas a la escritura de los símbolos de las unidades y de los números. No es un listado completo de decisiones de la CGPM y del CIPM. Para una lista completa, las referencias son los sucesivos volúmenes de las *Comptes Rendus des Séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures* (CR) y de los *Procès-Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures* (PV) o, para decisiones recientes, la revista *Metrologia.*

Como el SI no permanece estático, sino que evoluciona siguiendo el desarrollo de la ciencia de la medida, algunas decisiones han sido derogadas o modificadas; otras han sido clarificadas mediante adiciones. Las decisiones que han sido objeto de tales cambios se identifican por un asterisco (*) y reenvían a una nota que proporciona la referencia de la decisión que oficializa dicha modificación.

El texto original de cada decisión (o su traducción) se muestra con fuente diferente, para distinguirlo del texto principal. Los asteriscos y notas han sido añadidos por el BIPM para hacer el texto más comprensible. No forman parte del texto original.

En este anexo, las decisiones de la CGPM y del CIPM figuran por orden cronológico estricto, desde 1889 a 2005, para mantener la continuidad con que se tomaron. Sin embargo, para facilitar la localización de las decisiones referentes a un tema concreto, se incluye un índice de contenidos, ordenado por materias, con referencias a las páginas donde están las reuniones particulares en las que fueron tomadas las decisiones relativas a dicha materia.

Contenido del Anexo 1

Decisiones relativas al establecimiento del SI

		página
9ªCGPM, 1948:	decisión de establecer el SI	**57**
10ª CGPM, 1954:	decisión de adoptar las seis primeras unidades básicas	**59**
CIPM 1956:	decisión de adoptar el nombre “Sistema Internacional de Unidades”	**60**
11ª CGPM, 1960:	confirma el nombre y la abreviatura “SI”,	**61**
	nombra los prefijos de tera a pico,	**61**
	establece las unidades suplementarias rad y sr,	**62**
	lista algunas unidades derivadas	**62**
CIPM, 1969:	declaraciones relativas a las unidades básicas, suplementarias, derivadas y coherentes, y utilización de los prefijos	**67**
CIPM, 2001:	“unidades SI” y “unidades del SI”	**79**

Decisiones relativas a las unidades básicas del SI

Longitud

1ª CGPM, 1889:	sanción del Prototipo del metro	**54**
7ª CGPM, 1927:	definición y uso del Prototipo del metro	**55**
11ª CGPM, 1960:	redefinición del metro mediante la radiación del kriptón 86	**60**
15ª CGPM, 1975:	valor recomendado de la velocidad de la luz	**69**
17ª CGPM, 1983:	redefinición del metro en función de la velocidad de la luz,	**72**
	realización práctica de la definición del metro	**73**
CIPM, 2002:	especifica las reglas para la realización práctica de la definición del metro	**79**
CIPM, 2003:	revisión de la lista de radiaciones recomendadas	**81**
CIPM, 2005:	revisión de la lista de radiaciones recomendadas	**83**

Masa

1ª CGPM, 1889:	sanción del Prototipo del kilogramo	**54**
3ª CGPM, 1901:	declaración distinguiendo entre masa y peso, y valor convencional de g_n	**55**
CIPM, 1967:	declaración sobre la aplicación de prefijos al gramo	**64**
21ª CGPM, 1999:	eventual redefinición del kilogramo	**77**

Tiempo

		página
CIPM, 1956:	definición del segundo como fracción del año trópico 1900	**59**
11ª CGPM, 1960:	ratifica la definición del segundo dada por el CIPM en 1956	**61**
CIPM, 1964:	declara patrón recomendado a la transición hiperfina del cesio 133	**63**
12ª CGPM, 1964:	autoriza al CIPM para investigar sobre patrones de frecuencia atómicos y moleculares	**63**
13ª CGPM, 1967/68:	define el segundo en términos de la transición del cesio	**65**
CCDS, 1970:	define el Tiempo Atómico Internacional, TAI	**67**
14ª CGPM, 1971:	requiere al CIPM para que defina y establezca el Tiempo Atómico Internacional, TAI	**68**
15ª CGPM, 1975:	sanciona el uso del Tiempo Universal Coordinado, UTC	**69**

Unidades eléctricas

CIPM, 1946:	definición de las unidades mecánicas y eléctricas en el SI	**56**
14ª CGPM, 1971:	adopta el nombre siemens, símbolo S, para la conductancia eléctrica	**68**
18ª CGPM, 1987:	ajuste previsto de las representaciones del voltio y del ohmio	**74**
CIPM, 1988:	efecto Josephson	**74**
CIPM, 1988:	efecto Hall cuántico	**75**
CIPM, 2000:	realización del ohmio mediante el valor de la constante de von Klitzing	**78**

Temperatura termodinámica

9ª CGPM, 1948:	adopta el punto triple del agua como punto de referencia para la temperatura termodinámica, fija el cero de la temperatura Celsius en 0,01 grados por debajo de la temperatura del punto triple del agua	**56**
CIPM, 1948:	adopta el nombre grado Celsius para la escala de temperatura Celsius	**57**
10ª CGPM, 1954:	define la temperatura termodinámica de tal modo que el punto triple del agua es 273,16 grados Kelvin exactamente,	**59**
	define la atmósfera normal	**59**
13ª CGPM, 1967/68:	decide la definición formal del kelvin, símbolo K	**66**
CIPM, 1989:	Escala Internacional de Temperatura de 1990, EIT-90	**76**
CIPM, 2005:	nota añadida a la definición del kelvin relativa a la composición isotópica del agua	**83**

Cantidad de sustancia

14ª CGPM, 1971:	definición del mol, símbolo mol, como séptima unidad básica y reglas para su uso	**69**
21ª CGPM, 1999:	adopta el nombre especial katal, kat	**77**

Intensidad luminosa

		página
CIPM, 1946:	definición de las unidades fotométricas, la nueva candela y el nuevo lumen	**55**
13ª CGPM, 1967/68:	define la candela, símbolo cd, en función del cuerpo negro	**65**
16ª CGPM, 1979:	redefine la candela a partir de la radiación monocromática	**70**

Decisiones relativas a las unidades derivadas y suplementarias del SI

Unidades SI derivadas

12ª CGPM, 1964:	acepta que continúe el uso del curie como unidad no SI	**63**
13ª CGPM, 1967/68:	lista ejemplos de unidades derivadas	**65**
15ª CGPM, 1975:	adopta los nombres especiales becquerel, Bq y gray, Gy	**69**
16ª CGPM, 1979:	adopta el nombre especial sievert, Sv	**70**
CIPM, 1984:	decide aclarar las relaciones entre la dosis absorbida (unidad SI gray) y la dosis equivalente (unidad SI sievert)	**74**
CIPM, 2002:	modifica la relación entre dosis absorbida y dosis equivalente	**79**

Unidades suplementarias

CIPM, 1980:	decide interpretar las unidades suplementarias como unidades derivadas adimensionales	**72**
20ª CGPM, 1995:	decide suprimir la clase de las unidades suplementarias y confirma la interpretación del CIPM de que son unidades adimensionales	**77**

Decisiones relativas a la terminología y aceptación de unidades para uso con el SI

Prefijos SI

12ª CGPM, 1964:	decide añadir femto y atto a la lista de prefijos	**64**
15ª CGPM, 1975:	decide añadir peta y exa a la lista de prefijos	**69**
19ª CGPM, 1991:	decide añadir zetta, zepto, yotta y yocto a la lista de prefijos	**76**

Símbolos de unidades y números

9ª CGPM, 1948:	decide las reglas de escritura de los símbolos de unidades	**58**

Nombres de unidades

13ª CGPM, 1967/68:	deroga la utilización del micrón y de la nueva candela como unidades aceptadas para su uso con el SI	**67**

Separador decimal

22ª CGPM, 2003:	decide autorizar el empleo del punto o de la coma sobre la línea como separador decimal	**82**

Unidades de uso con el SI: un ejemplo, el litro **página**

3ª CGPM, 1901:	define el litro como el volumen de 1 kg de agua	**54**
11ª CGPM, 1960:	requiere al CIPM para que informe sobre la diferencia entre el decímetro cúbico y el litro	**60**
CIPM, 1961:	recomienda expresar los volúmenes en unidades SI y no en litros	**63**
12ª CGPM, 1964:	deroga la definición anterior del litro y recomienda utilizar el litro como nombre especial para el decímetro cúbico	**63**
16ª CGPM, 1979:	decide, con carácter excepcional, autorizar para el litro los dos símbolos l y L	**70**

1ª CGPM, 1889

■ **Sanción de los prototipos internacionales del metro y del kilogramo** (CR, 34-38)*

* La definición del metro fue derogada en 1960 por la 11ª CGPM (Resolución 6, véase p. 60).

La Conferencia General de Pesas y Medidas,

considerando

- el "*Compte Rendu*" del Presidente del Comité Internacional de Pesas y Medidas y el "Informe del CIPM", que muestran que, por colaboración de la sección francesa de la Comisión Internacional del Metro y del CIPM, las medidas fundamentales de los prototipos internacionales del metro y del kilogramo se han efectuado en las mejores condiciones de exactitud y de fiabilidad que permite el estado actual de la ciencia;
- que los prototipos internacionales y nacionales del metro y del kilogramo están construidos con una aleación de platino con un 10 por 100 de iridio, con precisión de 0,0001;
- la igualdad en longitud del Metro internacional y la igualdad en masa del Kilogramo internacional con la longitud del Metro y la masa del Kilogramo, ambos depositados en los Archivos de Francia;
- que las diferencias entre los Metros nacionales y el Metro internacional están dentro de un límite de 0,01 milímetros y que estas diferencias se basan en una escala termométrica de hidrógeno que es posible reproducir siempre, gracias a la estabilidad del hidrógeno, si se aseguran condiciones idénticas;
- que las diferencias entre los Kilogramos nacionales y el Kilogramo internacional, están dentro de un límite de 1 miligramo;
- que el Metro y el Kilogramo internacionales y que los Metros y los Kilogramos nacionales cumplen las condiciones exigidas por la Convención del Metro,

sanciona

A. En lo que concierne a los prototipos internacionales:

1. El Prototipo del metro elegido por el CIPM. Este prototipo representará en lo sucesivo, a la temperatura del hielo fundente, la unidad métrica de longitud.
2. El Prototipo del kilogramo adoptado por el CIPM. Este prototipo será considerado en lo sucesivo como unidad de masa.
3. La escala termométrica centígrada de hidrógeno, con referencia a la cual se han establecido las ecuaciones de los Metros prototipos.

B. En lo que concierne a los prototipos nacionales: .....

…

3ª CGPM, 1901

■ **Declaración relativa a la definición del litro** (CR, 38-39)*

* Esta definición fue derogada en 1964 por la 12ª CGPM (Resolución 6, véase p. 64).

…

La Conferencia declara

1. La unidad de volumen, para las determinaciones de gran exactitud, es el volumen ocupado por la masa de 1 kilogramo de agua pura, a su máximo de densidad y bajo la presión atmosférica normal; este volumen se denomina "litro".

2. …

■ Declaración sobre la unidad de masa y la definición del peso; valor convencional de *gn* (CR, 70)

Teniendo en cuenta la decisión del Comité International de Pesas y Medidas de 15 de octubre de 1887, por la cual se ha definido el kilogramo como unidad de masa;

Teniendo en cuenta la decisión contenida en la fórmula de sanción de los prototipos del Sistema Métrico, aceptada unánimemente por la Conferencia General de Pesas y Medidas el 26 de septiembre de 1889;

Considerando la necesidad de terminar con la ambigüedad que existe aún en el uso corriente respecto del significado del término *peso*, empleado unas veces como *masa*, y otras veces como *fuerza mecánica*;

La Conferencia declara

1. El kilogramo es la unidad de masa; es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo;
2. El término "peso" designa a una magnitud de la misma naturaleza que una "fuerza"; el peso de un cuerpo es el producto de la masa del cuerpo por la aceleración de la gravedad; en particular, el peso normal de un cuerpo es el producto de la masa del cuerpo por la aceleración normal de la gravedad;
3. El número adoptado en el Servicio Internacional de Pesas y Medidas para el valor de la aceleración normal de la gravedad es 980,665 cm/s^2, valor ya declarado por las leyes de algunos países.

Este valor de g_n era el valor convencional de referencia para el cálculo de la unidad kilogramo-fuerza, hoy en día obsoleta.

7ª CGPM, 1927

■ Definición del metro por el Prototipo internacional (CR, 49)*

La unidad de longitud es el metro, definido por la distancia, a 0°, entre los ejes de dos trazos centrados, grabados sobre la barra de platino iridiado depositada en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas y declarada Prototipo del metro por la 1ª Conferencia General de Pesas y Medidas, cuando esta barra se encuentre a presión atmosférica normal y soportada por dos cilindros de al menos un centímetro de diámetro, situados simétricamente en un mismo plano horizontal y a la distancia de 571 mm el uno del otro.

* Esta definición fue derogada en 1960 por la 11ª CGPM (Resolución 6, véase p. 60).

CIPM, 1946

■ Definición de las unidades fotométricas (PV, **20**, 119-122)*

Resolución

…

4. Las unidades fotométricas pueden definirse como sigue:

Nueva candela (unidad de intensidad luminosa). — La magnitud de la nueva candela es tal que el brillo del radiador perfecto a la temperatura de solidificación del platino sea de 60 nuevas candelas por centímetro cuadrado.

Nuevo lumen (unidad de flujo luminoso). — El nuevo lumen es el flujo luminoso emitido dentro del ángulo sólido unidad (estereorradián) por una fuente puntual uniforme que tiene una intensidad luminosa de 1 nueva candela.

5. …

* Las dos definiciones contenidas en esta Resolución fueron ratificadas por la 9ª CGPM en 1948, que además aprobó el nombre de candela dado a la "nueva candela" (CR, 54). Para el lumen se ha abandonado el calificativo "nuevo". La definición de la candela fue modificada por la 13ª CGPM en 1967 (Resolución 5, véase p. 66)

■ **Definición de las unidades eléctricas** (PV, **20**, 132-133)

Las definiciones contenidas en esta Resolución fueron ratificadas por la 9ª CGPM en 1948 (CR, 49), que además adoptó el nombre de newton (Resolución 7) para la unidad MKS de fuerza.

Resolución 2

...

4. (A) Definiciones de las unidades mecánicas utilizadas en las definiciones de las unidades eléctricas:

Unidad de fuerza. — La unidad de fuerza [en el sistema MKS (metro, kilogramo, segundo)] es la fuerza que comunica a una masa de 1 kilogramo la aceleración de 1 metro por segundo, en cada segundo.

Julio (unidad de energía o de trabajo). — El julio es el trabajo efectuado cuando el punto de aplicación de 1 unidad MKS de fuerza [newton] se desplaza una distancia de 1 metro en la dirección de la fuerza.

Vatio (unidad de potencia). — El vatio es la potencia que produce una energía igual a 1 julio por segundo.

(B) Definiciones de unidades eléctricas. El Comité Internacional de Pesas y Medidas acepta las proposiciones siguientes que definen el valor teórico de las unidades eléctricas:

Amperio (unidad de intensidad de corriente eléctrica). — El amperio es la intensidad de una corriente constante que, si se mantuviera en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable y situados a una distancia de 1 metro uno del otro en el va cío, produciría entre estos conductores una fuerza igual a 2×10^{-7}unidades MKS de fuerza [newton] por metro de longitud.

Voltio (unidad de diferencia de potencial y de fuerza electromotriz). — El voltio es la diferencia de potencial eléctrico que existe entre dos puntos de un hilo conductor que transporta una corriente constante de 1 amperio, cuando la potencia disipada entre estos puntos es igual a 1 vatio.

Ohmio (unidad de resistencia eléctrica). — El ohmio es la resistencia eléctrica que existe entre dos puntos de un conductor cuando una diferencia de potencial constante de 1 voltio, aplicada entre estos puntos, produce, en el conductor, una corriente de 1 amperio, no habiendo en el conductor ninguna fuerza electromotriz.

Culombio (unidad de cantidad de electricidad). — El culombio es la cantidad de electricidad transportada en 1 segundo por una corriente de 1 amperio.

Faradio (unidad de capacidad eléctrica). — El faradio es la capacidad eléctrica de un condensador entre cuy as placas aparece una diferencia de potencial eléctrico de 1 voltio, cuando está cargado con una cantidad de electricidad de 1 culombio.

Henrio (unidad de inductancia). — El henrio es la inductancia de un circuito cerrado en el que se produce una fuerza electromotriz de 1 voltio cuando la corriente eléctrica que recorre el circuito varía uniformemente a una velocidad de 1 amperio por segundo.

Weber (unidad de flujo magnético). — El weber es el flujo magnético que, atravesando un circuito de una sola espira produciría una fuerza electromotriz de 1 voltio, si se le redujese a cero a velocidad uniforme, en 1 segundo.

9ª CGPM, 1948

■ **Punto triple del agua; escala termodinámica de un único punto fijo; unidad de cantidad de calor (julio)** (CR, 55 y 63)

Resolución 3

1. En el estado actual de la técnica, el punto triple del agua es capaz de proporcionar un punto de referencia termométrica con una ex actitud superior al punto de fusión del hielo.

En consecuencia, el Comité Consultivo de Termometría y Calorimetría (CCTC) estima que el cero de la escala termodinámica centesimal debe definirse como situado a una temperatura inferior en 0,0100 grados a la del punto triple del agua.

2. El CCTC admite el principio de una escala termodinámica absoluta con un solo punto fijo fundamental, actualmente proporcionado por el punto triple del agua pura, cuya temperatura absoluta será fijada posteriormente.

   La introducción de esta nueva escala no afecta en absoluto al empleo de la Escala Internacional, que continúa siendo la escala práctica recomendada.

3. La unidad de cantidad de calor es el julio.

Nota: Se solicita que los resultados de los experimentos calorimétricos se expresen siempre que sea posible en julios. Si los experimentos se realizan por comparación con el aumento de la temperatura del agua (y, por cualquier razón, no se puede evitar el uso de la caloría), debe proporcionarse toda la información necesaria para la conversión en julios. El CIPM, asesorado por el CCTC, debe preparar una tabla que dé, en julios por grado, los valores más exactos que se puedan obtener de los experimentos sobre el calor específico del agua.

Una tabla, preparada conforme a este encargo, fue aprobada y publicada por el CIPM en 1950 (PV, **22**, 92).

■ **Adopción del "grado Celsius"** [CIPM, 1948 (PV, **21**, 88) y 9ª CGPM, 1948 (CR, 64)]

Entre los tres términos ("grado centígrado", "grado centesimal", "grado Celsius") propuestos para designar el grado de temperatura, el CIPM eligió "grado Celsius" (PV, **21**, 88).

Este término fue también adoptado por la 9ª CGPM (CR, 64).

■ **Propuesta de establecimiento de un sistema práctico de unidades de medida** (CR, 64)

Resolución 6

La Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando

- que la Unión Internacional de Física ha requerido al Comité Internacional de Pesas y Medidas que adopte para uso internacional un Sistema Internacional de Unidades práctico, que la Unión Internacional de Física recomienda el sistema MKS y una unidad eléctrica del sistema práctico absoluto, pero no recomienda que el sistema CGS sea abandonado por los físicos;
- que la propia CGPM ha recibido del Gobierno Francés un requerimiento análogo, acompañado de un borrador para emplearlo como base de discusión para el establecimiento de una especificación completa de las unidades de medida;

ordena al CIPM:

- averiguar, mediante una encuesta oficial enérgica y activa, la opinión de los círculos científicos, técnicos y pedagógicos de todos los países (ofreciéndoles como base el documento francés);
- reunir y estudiar las respuestas;
- hacer recomendaciones para un único sistema práctico de unidades de medida, susceptible de ser adoptado por todos los países adheridos a la Convención del Metro.

■ Escritura de los símbolos de las unidades y de los números (CR, 70)*

Resolución 7

Principios

Los símbolos de las unidades se expresan en caracteres romanos rectos, en minúscula; pero si los símbolos derivan de nombres propios, se emplean caracteres romanos en mayúscula. Los símbolos no van seguidos de punto.

En los números, la coma (uso francés y español) o el punto (uso británico) se emplean únicamente para separar la parte entera de los números de su parte decimal. Para facilitar la lectura los números, se separan en grupos de tres cifras: estos grupos nunca se separan por puntos, ni por comas.

Unidades	Símbolos	Unidades	Símbolos
• metro	m	amperio	A
• metro cuadrado	m^2	voltio	V
• metro cúbico	m^3	vatio	W
• micrón	μ	ohmio	Ω
• litro	l	culombio	C
• gramo	g	faradio	F
• tonelada	t	henrio	H
segundo	s	hercio	Hz
ergio	erg	poise	P
dina	dyn	newton	N
grado Celsius	ºC	• candela (nueva candela)	cd
• grado absoluto	ºK	lux	lx
caloría	cal	lumen	lm
bar	bar	stilb	sb
hora	h		

Observaciones

1. Los símbolos cuyas unidades van precedidas de un punto son los que habían ya sido adoptados anteriormente por una decisión del CIPM.
2. El símbolo de la unidad estéreo, empleada en la medida de volumen de madera, debe ser “st” y no “s”, que le había sido previamente asignado por el CIPM.
3. Para indicar, no una temperatura, sino un intervalo o una diferencia de temperaturas, la palabra “grado” debe escribirse completa o mediante la abreviatura ”grad”.

* La CGPM derogó ciertas decisiones referentes a las unidades y a la terminología, en particular las relativas al micrón, al grado absoluto y a los nombres “grado” 13ª CGPM, 1967/68 (Resoluciones 7 y 3, véanse pp. 67 y 65, respectivamente), y “litro”, 16ª CGPM, 1979 (Resolución 6, véase p. 71).

10ª CGPM, 1954

■ **Definición de la escala termodinámica de temperatura** (CR, 79)*

Resolución 3

La 10ª Conferencia General de Pesas y Medidas decide definir la escala de temperatura termodinámica eligiendo el punto triple del agua como punto fijo fundamental, y asignándole la temperatura de 273,16 grados Kelvin, exactamente.

* La 13ª CGPM en 1967 definió explícitamente el kelvin (Resolución 4, véase p. 66)

■ **Definición de la atmósfera normal** (CR, 79)

Resolución 4

La 10ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM), habiendo constatado que la definición de la atmósfera normal dada por la 9ª Conferencia General de Pesas y Medidas en la definición de la Escala Internacional de Temperatura ha llevado a pensar a algunos físicos que la validez de esta definición de la atmósfera estándar se encontraba limitada a las necesidades de la termometría de precisión,

declara que adopta, para todas las aplicaciones, la definición:

1 atmósfera normal = 1 013 250 dinas por centímetro cuadrado,
es decir: 101 325 newtons por metro cuadrado.

■ **Sistema práctico de unidades** (CR, 80)*

Resolución 6

De acuerdo con el deseo expresado en su Resolución 6 por la 9ª Conferencia General de Pesas y Medidas referente al establecimiento de un sistema práctico de unidades de medida para uso internacional, la 10ª Conferencia General de Pesas y Medidas **decide** adoptar como unidades básicas del sistema, las siguientes unidades:

* El nombre de unidad "grado Kelvin" fue cambiado a "kelvin" en 1967 por la 13ª CGPM (Resolución 3, véase p. 65).

longitud	metro
masa	kilogramo
tiempo	segundo
intensidad de corriente eléctrica	amperio
temperatura termodinámica	grado Kelvin
intensidad luminosa	candela

CIPM, 1956

■ **Definición de la unidad de tiempo (segundo)** (PV, **25**, 77)*

Resolución 1

En virtud de los poderes conferidos por la 10ª Conferencia General de Pesas y Medidas por su Resolución 5, el Comité International de Pesas y Medidas,

considerando

1. que la 9ª Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional (Dublín, 1955) se ha declarado a favor de vincular el segundo al año trópico,
2. que, según las decisiones de la 8ª Asamblea General de la Unión Astronómica Internacional (Roma, 1952), el segundo de tiempo de efemérides (T.E.) es la fracción

* Esta definición fue derogada en 1967 por la 13ª CGPM (Resolución 1, véase p. 65).

$$\frac{12\ 960\ 276\ 813}{408\ 986\ 496} \times 10^{-9}$$ del año trópico para enero de 1900 de 0 a 12 h T.E,

decide

"El segundo es la fracción 1/31 556 925,9747 del año trópico para enero de 1900, de 0 a 12 h del Tiempo de Efemérides."

■ **Sistema Internacional de Unidades** (PV, **25**, 83)

Resolución 3

El Comité Internacional de Pesas y Medidas,

considerando

- la misión que le confió la Resolución 6 de la 9ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) con respecto al establecimiento de un sistema práctico de unidades de medida susceptible de ser adoptado por todos los países adheridos a la Convención del Metro,
- los documentos recibidos de veintiún países en respuesta a la encuesta requerida por la 9ª CGPM,
- la Resolución 6 de la 10ª CGPM que fija las unidades básicas del sistema a establecer,

recomienda

1. que se denomine como "Sistema Internacional de Unidades" al sistema fundamentado sobre las unidades básicas adoptadas por la 10ª CGPM, que son:

   [Sigue la lista de las seis unidades básicas con su símbolo, reproducida en la Resolución 12 de la 11ª CGPM (1960)].
2. que se empleen las unidades de este sistema enumeradas en la tabla siguiente, sin excluir otras unidades que se podrán añadir en el futuro:

   [Sigue la tabla de unidades incluida en el párrafo 4 de la Resolución 12 de la 11ª CGPM (1960)].

11ª CGPM, 1960

■ **Definición del metro** (CR, 85)*

Resolución 6

La 11ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando

- que el Prototipo internacional no define el metro con una exactitud suficiente para las necesidades actuales de la metrología,
- que además es deseable adoptar un patrón natural e indestructible,

decide

1. El metro es la longitud igual a 1 650 763,73 longitudes de onda en el vacío de la radiación correspondiente a la transición entre los niveles $2p_{10}$ y $5\ d_5$ del átomo de kriptón 86.
2. Se deroga la definición del metro en vigor desde 1889, basada en el Prototipo internacional de platino iridiado.
3. El Prototipo internacional del metro sancionado por la 1ª CGPM en 1889 deberá ser mantenido en el BIPM bajo las condiciones especificadas en 1889.

* Esta definición fue derogada en 1983 por la 17ª CGPM (Resolución 1, véase p. 72)

■ **Definición de la unidad de tiempo (segundo)** (CR, 86)*

* Esta definición fue derogada en 1967 por la 13ª CGPM (Resolución 1, véase p. 65)

Resolución 9

La 11ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando

- los poderes concedidos por la 10ª CGPM al Comité Internacional de Pesas y Medidas para definir la unidad fundamental de tiempo,
- la decisión tomada por el CIPM en 1956,

ratifica la definición siguiente:

"El segundo es la fracción 1/31 556 925,9747 del año trópico para enero de 1900, de 0 a 12 h del Tiempo de Efemérides."

■ **Sistema Internacional de Unidades** (CR, 87)*

* La Conferencia General derogó posteriormente algunas de estas decisiones y completó la lista de prefijos SI: véanse las notas siguientes.

Resolución 12

La 11ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando

- la Resolución 6 de la 10ª CGPM por la que se adoptaron seis unidades básicas sobre las que establecer un sistema práctico de medida para las relaciones internacionales:

El nombre y símbolo de la unidad de temperatura termodinámica fueron modificados por la 13ª CGPM en 1967 (Resolución 3, véase p. 65).

longitud	metro	m
masa	kilogramo	kg
tiempo	segundo	s
intensidad de corriente eléctrica	amperio	A
temperatura termodinámica	grado Kelvin	ºK
intensidad luminosa	candela	cd

- la Resolución 3 adoptada por el Comité Internacional de Pesas y Medidas en 1956,
- las recomendaciones adoptadas por el CIPM en 1958 relativas a la abreviatura del nombre del sistema y los prefijos para la formación de múltiplos y submúltiplos de las unidades,

decide

1. el sistema basado en las seis unidades básicas anteriores se denomina con el nombre de "Sistema Internacional de Unidades";
2. la abreviatura internacional del nombre del sistema es: SI;
3. los nombres de los múltiplos y submúltiplos de las unidades se forman mediante los prefijos siguientes:

Una séptima unidad básica, el mol, fue adoptada por la 14ª CGPM en 1971 (Resolución 3, véase p. 68).

Factor por el que se multiplica la unidad	Prefijo	Símbolo	Factor por el que se multiplica la unidad	Prefijo	Símbolo
$1\,000\,000\,000\,000 = 10^{12}$	tera	T	$0{,}1 = 10^{-1}$	deci	d
$1\,000\,000\,000 = 10^{9}$	giga	G	$0{,}01 = 10^{-2}$	centi	c
$1\,000\,000 = 10^{6}$	mega	M	$0{,}001 = 10^{-3}$	mili	m
$1\,000 = 10^{3}$	kilo	k	$0{,}000\,001 = 10^{-6}$	micro	µ
$100 = 10^{2}$	hecto	h	$0{,}000\,000\,001 = 10^{-9}$	nano	n
$10 = 10^{1}$	deca	da	$0{,}000\,000\,000\,001 = 10^{-12}$	pico	p

Se adoptaron prefijos adicionales por la 12ª CGPM en 1964 (Resolución 8, véase p. 64) la 15ª CGPM en 1975 (Resolución 10, véase p. 68) y la 19ª CGPM en 1991 (Resolución 4, véase p. 76).

4. en este sistema se emplean las unidades que a continuación se relacionan, sin perjuicio de que en el futuro puedan añadirse otras.

Unidades suplementarias

ángulo plano	radián	rad	
ángulo sólido	estereorradián	sr	

La 20ª CGPM en 1995 derogó la clase de las unidades suplementarias del SI (Resolución 8, véase p. 76). Actualmente se consideran como unidades derivadas.

Unidades derivadas

superficie	metro cuadrado	m^2	
volumen	metro cúbico	m^3	
frecuencia	hercio	Hz	1/s
densidad o masa volúmica	kilogramo por metro cúbico	kg/m^3	
velocidad	metro por segundo	m/s	
velocidad angular	radián por segundo	rad/s	
aceleración	metro por segundo cuadrado	m/s^2	
aceleración angular	radián por segundo cuadrado	rad/s^2	
fuerza	newton	N	$kg\ m/s^2$
presión (tensión mecánica)	newton por metro cuadrado	N/m^2	
viscosidad cinemática	metro cuadrado por segundo	m^2/s	
viscosidad dinámica	newton-segundo por metro cuadrado	$N\ s/m^2$	
trabajo, energía, cantidad de calor	julio	J	N m
potencia	vatio	W	J/s
cantidad de electricidad	culombio	C	A · s
tensión eléctrica (voltaje), diferencia de potencial, fuerza electromotriz	voltio	V	W/A
campo eléctrico	voltio por metro	V/m	
resistencia eléctrica	ohmio	Ω	V/A
capacidad eléctrica	faradio	F	A s/V
flujo de inducción magnética	weber	Wb	V · s
inductancia	henrio	H	V s/A
inducción magnética	tesla	T	Wb/
m^2 campo magnético	amperio por metro	A/m	
fuerza magnetomotriz	amperio	A	
flujo luminoso	lumen	lm	cd sr
luminancia	candela por metro cuadrado	cd/m^2	
iluminancia	lux	lx	lm/m^2

La 13ª CGPM en 1967 (Resolución 6, véase p. 65) especificó otras unidades que debían ser añadidas a la lista. En principio, la lista de unidades derivadas es ilimitada.

■ **Decímetro cúbico y litro** (CR, 88)

Resolución 13

La 11ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando

- que el decímetro cúbico y el litro no son iguales y difieren del orden de 28 partes en 10^6,
- que las determinaciones de magnitudes físicas que implican medidas de volumen se realizan con una exactitud cada vez mayor, aumentando así el riesgo de confusión entre el decímetro cúbico y el litro,

requiere al Comité Internacional de Pesas y Medidas que estudie este problema y presente sus conclusiones a la 12ª CGPM.

CIPM, 1961

■ **Decímetro cúbico y litro** (PV, **29**, 34)

Recomendación

El Comité Internacional de Pesas y Medidas recomienda que los resultados de las medidas muy exactas de volumen se expresen en unidades del Sistema Internacional y no en litros.

CIPM, 1964

■ **Patrones de frecuencia atómicos y moleculares** (PV, **32**, 26 y CR, 93)

Declaración

El Comité Internacional de Pesas y Medidas,

habilitado por la Resolución 5 de la 12ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) para designar patrones de frecuencia atómicos o moleculares para uso temporal en medidas de tiempo en física,

declara que el patrón a emplear es la transición entre los niveles hiperfinos $F = 4$, $M = 0$ y $F = 3$, $M = 0$ del estado fundamental $^2S_{1/2}$ del átomo de cesio 133 no perturbado por campos externos y que a la frecuencia de esta transición se le asigna un valor igual a 9 192 631 770 hercios.

12ª CGPM, 1964

■ **Patrón atómico de frecuencia** (CR, 93)

Resolución 5

La 12ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando

- que la 11ª CGPM constató en su Resolución 10 la urgencia para los objetivos de la metrología de precisión de definir un patrón atómico o molecular de intervalo de tiempo,
- que, a pesar de los resultados obtenidos con la utilización de patrones atómicos de frecuencia de cesio, no ha llegado aún el momento de adoptar por parte de la CGPM una nueva definición del segundo, unidad básica del Sistema Internacional de Unidades, debido a los nuevos e importantes progresos que probablemente se obtendrán del trabajo en curso,

considerando también que no es deseable esperar más para basar las medidas físicas de tiempo en patrones atómicos o moleculares de frecuencia,

habilita al Comité Internacional de Pesas y Medidas para designar los patrones de frecuencia atómicos o moleculares a emplear provisionalmente, y
pide a las organizaciones y laboratorios expertos en este campo que continúen con los estudios relacionados con una nueva definición del segundo.

■ **Litro** (CR, 93)

Resolución 6

La 12ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando la Resolución 13 adoptada por la 11ª CGPM en 1960 y la Recomendación adoptada por el Comité Internacional de Pesas y Medidas en 1961,

1. **deroga** la definición del litro dada en 1901 por la 3ª CGPM,
2. **declara** que la palabra "litro" puede utilizarse como un nombre especial para el decímetro cúbico,
3. **recomienda** que el nombre de litro no se utilice para expresar resultados de medida de volumen de gran exactitud.

■ **Curie** (CR, 94)*

* La 15ª CGPM adoptó en 1975 (Resolución 8, véase p. 69) el nombre "becquerel" (Bq) para la unidad SI de actividad: 1 Ci = 3,7 × 10^{10} Bq.

Resolución 7

La 12ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando que desde hace mucho tiempo el curie se utiliza en muchos países como unidad de actividad de radionucleidos,

reconociendo que en el Sistema Internacional de unidades (SI), la unidad de esta actividad es el segundo a la potencia menos unos (s^{-1}),

admite que el curie se siga manteniendo, fuera del SI, como unidad de actividad, con el valor 3,7 × 10^{10} s^{-1}. El símbolo de esta unidad es Ci.

■ **Prefijos SI femto y atto** (CR, 94)*

* La 15ª CGPM añadió nuevos prefijos en 1975 (Resolución 10, véase p. 70).

Resolución 8

La 12ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

decide añadir a la lista de prefijos para la formación de los nombres de los múltiplos y de los submúltiplos de las unidades, adoptada por la 11ª CGPM, Resolución 12, párrafo 3, los dos nuevos prefijos siguientes:

Factor multiplicador	Prefijo	Símbolo
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

CIPM, 1967

■ **Múltiplos y submúltiplos decimales de la unidad de masa** (PV, **35**, 29 y *Metrologia*, 1968, **4**, 45)

Recomendación 2

El Comité Internacional de Pesas y Medidas,

considerando que la regla de formación de los nombres de los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades del párrafo 3 de la Resolución 12 de la 11ª Conferencia General de Pesas y Medidas (1960) puede prestarse a interpretaciones divergentes en su aplicación a la unidad de masa,

declara que las disposiciones de la Resolución 12 de la 11ª Conferencia General se apliquen, en el caso del kilogramo, del siguiente modo: los nombres de los múltiplos y submúltiplos decimales de la unidad de masa se forman por adición de los prefijos a la palabra "gramo".

13ª CGPM, 1967/68

■ **Unidad SI de tiempo (segundo)** (CR, 103 y *Metrologia*, 1968, **4**, 43)

Resolución 1

La 13ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando

- que la definición del segundo adoptada por el Comité International de Pesas y Medidas (CIPM) en su reunión de 1956 (Resolución 1) y ratificada por la Resolución 9 de la 11ª CGPM (1960), mantenida posteriormente por la Resolución 5 de la 12ª Conferencia General (1964) no es adecuada para las necesidades actuales de la metrología,
- que en su reunión de 1964 el CIPM, habilitado por la Resolución 5 de la 12ª Conferencia (1964), ha designado para responder a estas necesidades un patrón atómico de frecuencia de cesio de uso temporal,
- que este patrón de frecuencia se encuentra en la actualidad suficientemente probado y se le ha encontrado de exactitud suficiente para proporcionar una definición del segundo que cumpla los requisitos actuales,
- que ha llegado el momento de reemplazar la definición actualmente en vigor de la unidad de tiempo del Sistema Internacional de Unidades por una definición basada en este patrón,

decide

1. La unidad de tiempo del Sistema Internacional de Unidades es el segundo definido de la forma siguiente:
   "El segundo es la duración de 9 192 631 770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133";
2. La Resolución 1 adoptada por el CIPM en su reunión de 1956 y la Resolución 9 de la 11ª CGPM quedan derogadas.

En su reunión de 1997, el Comité Internacional afirmó que esta definición se refiere a un átomo de cesio en reposo a una temperatura termodinámica de 0 K.

■ **Unidad SI de temperatura termodinámica (kelvin)** (CR, 104 y *Metrologia*, 1968, **4**, 43)*

Resolución 3

La 13ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando

- los nombres "grado Kelvin" y "grado", los símbolos "°K" y "grad" y sus reglas de empleo contenidas en la Resolución 7 de la 9ª CGPM (1948), en la Resolución 12 de la 11ª CGPM (1960) y la decisión tomada por el Comité Internacional de Pesas y Medidas en 1962 (PV, **30**, 27),
- que la unidad de temperatura termodinámica y la unidad de intervalo de temperatura son una única unidad, que debería indicarse por un solo nombre y un solo símbolo,

decide

1. la unidad de temperatura termodinámica se denota con el nombre "kelvin" y su símbolo es "K";**
2. este mismo nombre y este mismo símbolo se utilizan para expresar un intervalo de temperatura;
3. un intervalo de temperatura puede expresarse también en grados Celsius;

* En su sesión de 1980, el Comité Internacional aprobó el informe de la 7ª reunión del CCU que pedía que no se continuara admitiendo el empleo de los símbolos "°K" y "grad"

** Véase la Recomendación 2 (CI-2005) del CIPM relativa a la composición isotópica del agua que forma parte de la definición del kelvin (p. 83).

4. se derogan las decisiones mencionadas en el primer párrafo referentes al nombre de la unidad de temperatura termodinámica, su símbolo y la designación de la unidad para expresar un intervalo o una diferencia de temperatura, aunque las aplicaciones que se derivan de dichas decisiones se admiten por un tiempo.

■ Definición de la unidad SI de temperatura termodinámica (kelvin) (CR, 104 y *Metrologia*, 1968, **4**, 43)*

*Véase la Recomendación 5 (CI-1989) del CIPM relativa a la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (p. 76).

Resolución 4

La 13ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando que es útil formular de un modo más explícito la definición de la unidad de temperatura termodinámica contenida en la Resolución 3 de la 10ª CGPM (1954),

decide expresar esta definición de la forma siguiente:

"El kelvin, unidad de temperatura termodinámica, es la fracción 1/273,16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua."

■ Unidad SI de intensidad luminosa (candela) (CR, 104 y *Metrologia*, 1968, **4**, 43-44)*

* Esta definición fue derogada en 1979 por la 16ª CGPM (Resolución 3, véase p. 70)

Resolución 5

La 13ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando

- la definición de la unidad de intensidad luminosa ratificada por la 9ª CGPM (1948) y contenida en la "Resolución referente al cambio de las unidades fotométricas" adoptada por el Comité Internacional de Pesas y Medidas en 1946 (PV, **20**, 119) en virtud de los poderes conferidos por la 8ª CGPM (1933),
- que esta redacción determina satisfactoriamente la magnitud de la unidad de intensidad luminosa pero se presta a críticas en cuanto a su redacción,

decide expresar la definición de la candela de la forma siguiente:

"La candela es la intensidad luminosa, en dirección perpendicular, de una superficie de 1/600 000 metros cuadrados de un cuerpo negro a la temperatura de congelación del platino bajo una presión de 101 325 newtons por metro cuadrado."

■ Unidades SI derivadas (CR, 105 y *Metrologia*, 1968, 4, 44)*

* Se le dio un nombre especial y un símbolo a la unidad de actividad por la 15ª CGPM en 1975 (Resolución 8, véase p. 69)

Resolución 6

La 13ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando que es útil añadir algunas unidades derivadas a la lista del párrafo 4 de la Resolución 12 de la 11ª CGPM (1960),

decide añadir:

número de ondas	1 por metro	m^{-1}
entropía	julio por kelvin	J/K
capacidad calorífica específica	julio por kilogramo y kelvin	J/(kg · K)
conductividad térmica	vatio por metro y kelvin	W/(m · K)
intensidad radiante	vatio por estereorradián	W/sr
actividad (de una fuente radioactiva)	1 por segundo	s^{-1}

■ **Derogación de decisiones anteriores (el micrón y la nueva candela)** (CR, 105 y *Metrologia*, 1968, **4**, 44)

Resolución 7

La 13ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando que las decisiones subsiguientes de la Conferencia General relativas al Sistema Internacional de Unidas son incompatibles con partes de la Resolución 7 de la 9ª CGPM (1948),

decide en consecuencia eliminar de la Resolución 7 de la 9ª Conferencia:

1. el nombre de la unidad "micrón" y el símbolo "μ" que se atribuyó a esta unidad y que ha pasado a ser un prefijo;
2. el nombre de la unidad "nueva candela".

CIPM, 1969

■ **Sistema Internacional de Unidades, Reglas de aplicación de la Resolución 12 de la 11ª CGPM (1960)** (PV, **37**, 30 y *Metrologia*, 1970, **6**, 66)*

* La 20ª CGPM decidió en 1995 derogar la clase de las unidades suplementarias del SI (Resolución 8, véase p. 77).

Recomendación 1

El Comité Internacional de Pesas y Medidas,

considerando que la Resolución 12 de la 11ª Conferencia General de Pesas y Medidas (1960), referente al Sistema Internacional de Unidades , ha suscitado controversias sobre ciertos aspectos,

declara

1. las unidades básicas, las unidades suplementarias y las unidades derivadas del Sistema Internacional de Unidades, que forman un conjunto coherente, se denominan "unidades SI";**
2. los prefijos adoptados por la CGPM para la formación de los múltiplos y submúltiplos decimales de las unidades SI se denominan "prefijos SI", y

** El CIPM aprobó en 2001 una propuesta del CCU para aclarar la definición de «unidades SI» y de «unidades del SI», véase p. 79.

recomienda

3. emplear las unidades SI y sus múltiplos y submúltiplos decimales cuyos nombres se formen mediante los prefijos SI.

Nota: La denominación "unidades suplementarias" que figura en la Resolución 12 de la 11ª CGPM (y en la presente Recomendación), se aplica a unidades SI respecto de las cuales la Conferencia General renuncia a declarar si son unidades básicas o unidades derivadas.

CCDS, 1970 (*En* CIPM, 1970)

■ **Definición del TAI** (PV, **38**, 110-111 y *Metrologia*, 1971, **7**, 43)

Recomendación S2

El Tiempo Atómico Internacional (T AI) es la coordenada de referencia temporal establecida por el Bureau International de l'Heure (BIH) en base a las indicaciones de relojes atómicos que funcionan en varias instalaciones conforme a la definición del segundo, unidad de tiempo del Sistema Internacional de Unidades.
En 1980, la definición del TAI se completó como sigue (declaración del CCDS, *BIPM Com. Cons. Def. Segundo*, 1980, **9**, S 15 y *Metrologia*, 1981, **17**, 70):

El TAI es la escala de tiempo coordinado definida en un sistema de referencia geocéntrico, con el segundo SI realizado sobre el geoide en rotación como unidad de la escala.

La Unión Astronómica Internacional amplió esta definición en su Resolución A4 de 1991: "El TAI es una escala de tiempo realizada cuya forma ideal, si se desprecia un retardo constante de 32,184 s, es el Tiempo Terrestre (TT), ligado a su vez a la coordenada de tiempo del sistema de referencia geocéntrico, el Tiempo Coordenado Geocéntrico (TCG), por una relación constante." (véase Proc. 21º Asamblea General de la UAI, *IAU Trans.*, 1991, vol. **XXIB,** Kluwer.)

14ª CGPM, 1971

■ **Pascal y siemens** (CR, 78)

La 14ª Conferencia General de Pesas y Medidas ha adoptado los nombres especiales "pascal" (símbolo Pa) para la unidad SI newton por metro cuadrado y "siemens" (símbolo S) para la unidad SI de conductancia eléctrica [ohmio a la potencia menos uno].

■ **Tiempo Atómico Internacional; misión del CIPM** (CR, 77-78 y *Metrologia*, 1972, **8**, 35)

Resolución 1

La 14ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando

- que el segundo, unidad de tiempo del Sistema Internacional de Unidades, se ha definido desde 1967 en función de una frecuencia atómica natural y ya no a partir de escalas de tiempo proporcionadas por movimientos astronómicos,
- que la necesidad de una escala de Tiempo Atómico Internacional (TAI) es una consecuencia de la definición atómica del segundo,
- que varias organizaciones internacionales han asegurado y siguen asegurando con éxito el establecimiento de escalas de tiempo basadas en movimientos astronómicos, particularmente gracias a los servicios permanentes del Bureau International de l'Heure (BIH),
- que el BIH ha comenzado a establecer una escala de tiempo atómico de calidad reconocida y de probada utilidad,
- que los patrones atómicos de frecuencia empleados para la realización del segundo han sido estudiados y deben seguir siéndolo por el Comité Internacional de Pesas y Medidas, auxiliado por un Comité Consultivo y que el intervalo unidad de la escala de Tiempo Atómico Internacional ha de se r el segundo realizado de acuerdo con su definición atómica,
- que todas las organizaciones científicas internacionales competentes y los laboratorios nacionales que trabajan en este campo han expresado el deseo de que el CIPM y la CGPM den una definición del Tiempo Atómico Internacional y contribuyan al establecimiento de la escala de Tiempo Atómico Internacional,
- que la utilidad del Tiempo Atómico Internacional requiere una estrecha coordinación con las escalas de tiempo basadas en movimientos astronómicos,

solicita al CIPM

1. que dé una definición del Tiempo Atómico Internacional,
2. que tome las medidas necesarias, de acuerdo con las organizaciones internacionales interesadas, para asegurar que se utilicen de la mejor forma posible todas las competencias científicas y las instalaciones existentes en la realización de la escala de Tiempo Atómico Internacional y para que se puedan satisfacer los requerimientos de los usuarios del Tiempo Atómico Internacional.

La definición del TAI fue dada por el CCDS (actualmente CCTF) en 1970, véase p. 67.

■ **Unidad SI de cantidad de sustancia (mol)** (CR, 78 y *Metrologia*, 1972, **8**, 36)*

Resolución 3

La 14ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

* En su sesión de 1980, el CIPM aprobó el informe de la 7ª reunión del CCU (1980) precisando que, en esta definición, ha de entenderse que se refiere a átomos de carbono 12 no ligados, en reposo y en el estado fundamental.

considerando los consejos de la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada, de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada y de la Organización Internacional de Normalización respecto a la necesidad de definir una unidad de cantidad de sustancia,

decide

1. El mol es la cantidad de sustancia de un sistema que contiene tantas entidades elementales como átomos hay en 0,012 kilogramos de carbono 12; su símbolo es "mol".
2. Cuando se emplee el mol, deben especificarse las entidades elementales, que pueden ser átomos, moléculas, iones, electrones, otras partículas o grupos específicos de tales partículas.
3. El mol es una unidad básica del Sistema Internacional de Unidades.

15ª CGPM, 1975

■ **Valor recomendado para la velocidad de la luz** (CR, 103 y *Metrologia*, 1975, **11**, 179-180)

Resolución 2

La 15ª Conferencia General de Pesas y Medidas,

considerando la excelente concordancia entre los resultados de medida de longitudes de onda de las radiaciones láser enclavadas sobre una línea de absorción molecular en la región visible e infrarroja, con una incertidumbre estimada de $\pm 4 \times 10^{-9}$, lo que corresponde a la incertidumbre de la realización del metro,

La incertidumbre relativa dada aquí corresponde a tres veces la incertidumbre típica estimada de los datos considerados.

considerando también las medidas concordantes de las frecuencias de varias de estas radiaciones,

recomienda el uso del valor que resulta para la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en el vacío c = 299 792 458 metros por segundo.

■ **Tiempo Universal Coordinado (UTC)** (CR, 104 y *Metrologia*, 1975, **11**, 180)

Resolución 5

La 15ª Conferencia General de Pesas y Medidas,

considerando que el sistema denominado "Tiempo Universal Coordinado" (UTC) se utiliza muy ampliamente, que se emplea en la mayor parte de las transmisiones de señales horarias vía radio, que esta amplia difusión proporciona a los usuarios no sólo patrones de frecuencia sino también el Tiempo Atómico Internacional y una aproximación al Tiempo Universal (o, si se prefiere, al tiempo solar medio),

constata que el Tiempo Universal Coordinado es la base de la hora civil cuy o uso está legalizado en la mayoría de los países,

estima que este uso es perfectamente recomendable.

■ **Unidades SI para las radiaciones ionizantes (becquerel y gray)** (CR, 105 y *Metrologia*, 1975, **11**, 180)*

Resoluciones 8 y 9

La 15ª Conferencia General de Pesas y Medidas,

con motivo de la necesidad urgente, expresada por la Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiaciones (ICRU), de extender el uso del Sistema Internacional de Unidades a las investigaciones y a las aplicaciones radiológicas,

* En su reunión de 1976, el CIPM aprobó el informe de la 5ª reunión del CCU (1976) precisando que, según indicación del ICRU, el gray puede emplearse también para expresar la energía másica depositada, el kerma y el índice de dosis absorbida.

en razón a la necesidad de facilitar todo lo posible el uso de las unidades a los no especialistas,

teniendo en cuenta además la gravedad de los riesgos de error en el trabajo terapéutico,

adopta el siguiente nombre especial de unidad SI para la actividad:

becquerel, símbolo Bq, igual al segundo a la potencia menos uno (Resolución 8),

adopta el siguiente nombre especial de unidad SI para las radiaciones ionizantes:

gray, símbolo Gy, igual al julio por kilogramo (Resolución 9).

Nota: El gray es la unidad SI de dosis absorbida. En el campo de las radiaciones ionizantes, el gray puede emplearse también con otras magnitudes físicas que se expresan también en julios por kilogramo; el Comité Consultivo de Unidades tiene la responsabilidad de estudiar este tema en colaboración con las organizaciones internacionales competentes.

■ **Prefijos SI peta y exa** (CR, 106 y *Metrologia*, 1975, **11**, 180-181)*

* La 19ª CGPM añadió nuevos prefijos en 1991 (Resolución 4, véase p. 76)

Resolución 10

La 15ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

decide añadir a la lista de los prefijos SI a usar para los múltiplos, adoptada por la 11ª CGPM, Resolución 12, párrafo 3, los dos prefijos siguientes:

Factor por el que se multiplica la unidad	Prefijo	Símbolo
10^{15}	peta	P
10^{18}	exa	E

16ª CGPM, 1979

■ **Unidad SI de intensidad luminosa (candela)** (CR, 100 y *Metrologia*, 1980, **16**, 56)

Resolución 3

La 16ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando

- que, a pesar de los notables esfuerzos de algunos laboratorios, sigue habiendo divergencias excesivas entre los resultados de la realización de la candela mediante el patrón primario actual basado en un cuerpo negro,
- que las técnicas radiométricas se están desarrollando rápidamente, permitiendo precisiones ya equivalentes a las de la fotometría y que estas técnicas se encuentran ya en uso en laboratorios nacionales para realizar la candela sin tener que construir un cuerpo negro,
- que la relación entre las magnitudes luminosas de la fotometría y las magnitudes radiométricas, es decir, el valor de 683 lúmenes por vatio para la eficacia luminosa espectral de la radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} hercios, ha sido adoptado por el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CGPM) en 1977,
- que este valor ha sido reconocido suficientemente exacto para el sistema de las magnitudes luminosas fotópicas, que implica un cambio sólo del orden del 3% para el sistema de magnitudes luminosas escotópicas y que por tanto asegura una continuidad satisfactoria,
- que ha llegado el momento de dar a la candela una definición que permita una mejora tanto en la facilidad de realización como en la precisión de patrones fotométricos, y que

La visión fotópica se detecta en la retina del ojo por los conos, que son sensibles a altos niveles de luminancia (L > aprox. 10 cd/m^2), y se usan para la visión diurna. La visión escotópica se detecta en la retina del ojo por los bastones, que son sensibles a bajos niveles de luminancia (L < aprox. 10^{-3} cd/m^2), y se usan para la visión nocturna. En el dominio entre estos niveles de luminancia se usan tanto los conos como los bastones y esto se describe como visión mesópica.

se aplique tanto a las magnitudes fotópicas y escotópicas de la fotometría como a las magnitudes a definir en el dominio mesópico,

decide

1. La candela es la intensidad luminosa, en una dirección determinada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} hercios y cuya intensidad radiante en dicha dirección es 1/683 vatios por estereorradián.
2. Se deroga la definición de la candela (denominada en su momento nueva candela) decidida por el CIPM en 1946 en virtud de las atribuciones conferidas por la 8ª CGPM en 1933, ratificada por la 9ª CGPM en 1948 y después modificada por la 13ª CGPM en 1967.

■ **Nombre especial para la unidad SI de dosis equivalente (sievert)** (CR, 100 y *Metrologia*, 1980, **16**, 56)*

* El CIPM decidió en 1984 acompañar esta Resolución de una explicación (Recomendación 1, véase p. 73).

Resolución 5

La 16ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando

- el esfuerzo realizado para introducir las unidades SI en el campo de las radiaciones ionizantes,
- los riesgos para los seres humanos de una dosis de radiación subestimada, riesgos que podrían surgir de la confusión entre dosis absorbida y dosis equivalente,
- que la proliferación de nombres especiales representa un peligro para el Sistema Internacional de Unidades, que debe evitarse en la medida de lo posible, pero que esta regla puede romperse cuando se trata de salvaguardar la salud humana,

adopta el nombre especial ***sievert***, símbolo Sv, para la unidad SI de dosis equivalente en el campo de la radioprotección. El sievert es igual al julio por kilogramo.

■ **Símbolos del litro** (CR, 101 y *Metrologia*, 1980, **16**, 56-57)

Resolución 6

La 16ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

reconociendo los principios generales adoptados para la escritura de los símbolos de las unidades en la Resolución 7 de la 9ª CGPM (1948),

considerando que el símbolo l para la unidad litro fue adoptado por el Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) en 1879 y confirmado en la misma Resolución de 1948,

considerando también que, para evitar el riesgo de confusión entre la letra l y el número 1, varios países han adoptado el símbolo L en lugar de l para la unidad litro,

considerando que el nombre litro, aunque no se encuentra incluido en el Sistema Internacional de Unidades , debe admitirse como de uso general con el Sistema,

decide, como excepción, adoptar los dos símbolos l y L como símbolos utilizables para la unidad litro,

El CIPM en 1990 consideró que era todavía demasiado pronto para elegir un símbolo único del litro.

considerando de otra parte que en el futuro sólo debe mantenerse uno de los dos símbolos,

invita al CIPM a observar la evolución del empleo de los dos símbolos y a dar a la 18ª CGPM su opinión sobre la posibilidad de suprimir uno de ellos.

CIPM, 1980

■ **Unidades SI suplementarias (radián y estereorradián)** (PV, **48**, 24 y *Metrologia*, 1981, **17**, 72)*

* La clase de las unidades suplementarias del SI fue derogada en 1995 por decisión de la 20ª CGPM (Resolución 8, véase p. 77)

Recomendación 1

El Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM),

tomando en consideración la Resolución 3 adoptada por ISO/T C 12 en 1978 y la Recomendación U 1 (1980) adoptada por el Comité Consultivo de Unidades (CCU) en su 7ª reunión,

considerando

- que las unidades radián y estereorradián se emplean habitualmente en expresiones para unidades donde hay necesidad de clarificación, especialmente en fotometría, donde el estereorradián juega un papel importante para distinguir las unidades correspondientes a magnitudes diversas,
- que en las ecuaciones utilizadas se expresa generalmente el ángulo plano como el cociente de dos longitudes y el ángulo sólido como el cociente entre un área y el cuadrado de una longitud y que por lo tanto estas magnitudes se tratan como magnitudes sin dimensión,
- que el estudio de los formalismos empleados en el dominio científico muestra que no existe ninguno que sea a la vez coherente y conveniente y en el que las magnitudes ángulo plano y ángulo sólido pueden ser consideradas como magnitudes básicas,

considerando también

- que la interpretación dada por el CIPM en 1969 para la clase de las unidades suplementarias contenida en la Resolución 12 de la 11ª Conferencia General de Pesas y Medidas en 1960 permite la libertad de tratar al radián y al estereorradián como unidades básicas del SI,
- que tal posibilidad compromete la coherencia interna del Sistema Internacional basado en siete unidades básicas solamente,

decide interpretar la clase de las unidades suplementarias del Sistema Internacional como una clase de unidades derivadas sin dimensión par a las cuales la CGPM deja la libertad de utilizarlas o no en las expresiones de unidades derivadas del Sistema Internacional.

17ª CGPM, 1983

■ **Definición del metro** (CR, 97 y *Metrologia*, 1984, **20**, 25)

Resolución 1

La 17ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando

- que la definición actual no permite una realización del metro suficientemente precisa para todas las necesidades,
- que los progresos realizados en la estabilización de láseres permiten obtener radiaciones más reproducibles y más fáciles de utilizar que la radiación patrón emitida por una lámpara de kriptón 86,
- que los progresos realizados en la medida de frecuencias y de longitudes de onda de estas radiaciones han conducido a determinaciones concordantes de la velocidad de la luz cuya exactitud se encuentra limitada principalmente por la realización de la actual definición del metro,

- que los valores de las longitudes de onda determinadas a partir de medidas de frecuencia y de un valor dado de la velocidad de la luz tienen una precisión superior a la que se puede obtener por comparación con la longitud de onda de la radiación patrón del kriptón 86,
- que resulta ventajoso, en especial para la astronomía y la geodesia, mantener sin cambio el valor de la velocidad de la luz recomendado en 1975 por la 15ª CGPM, en su Resolución 2 (c = 299 792 458 m/s),
- que se ha estado considerando una nueva definición del metro de diversas formas todas las cuales se basan en dar a la velocidad de la luz un valor exacto, igual al valor recomendado, con lo cual no se introduce ninguna discontinuidad apreciable de la unidad de longitud, teniendo en cuenta la incertidumbre relativa de $\pm 4 \times 10^{-9}$ de las mejores realizaciones de la definición actual del metro,
- que estas diversas formas, que hacen referencia bien al trayecto recorrido por la luz en un intervalo de tiempo especificado, bien a la longitud de onda de una radiación de frecuencia medida o especificada, han sido objeto de consultas y de discusiones profundas, han sido reconocidas como equivalentes y que una mayoría se ha inclinado a favor de la primera forma,
- que el Comité Consultivo para la Definición del Metro (CCDM) se encuentra actualmente en disposición de dar las instrucciones para la realización práctica de tal definición, instrucciones que podrían incluir el empleo de la radiación naranja del kriptón 86 utilizada hasta ahora como patrón y que podrían ser extendidas o revisadas en el futuro,

El valor de la incertidumbre aquí indicada, corresponde a tres veces la desviación típica en los datos considerados.

decide

1. El metro es la longitud del trayecto recorrido en el vacío por la luz durante un intervalo de tiempo de 1/299 792 458 de segundo,
2. Se deroga la definición del metro en vigor desde 1960, basada en la transición entre los niveles $2p_{10}$ y $5d_5$ del átomo de kripton 86.

■ **Puesta en práctica de la definición del metro** (CR, 98 y *Metrologia*, 1984, **20**, 25-26)

Véase la Recomendación 1 (CI-2002) del CIPM sobre la revisión de la realización práctica de la definición del metro, p. 79.

Resolución 2

La 17ª Conferencia General de Pesas y Medidas,

invita al Comité Internacional de Pesas y Medidas

- a preparar las instrucciones para la puesta en práctica de la nueva definición del metro,
- a seleccionar las radiaciones que puedan recomendarse como patrones de longitud de onda para la medición de longitud por interferometría y a preparar instrucciones para su empleo,
- a continuar los estudios iniciados para mejorar estos patrones.

CIPM, 1984

■ **Referente al sievert** (PV, **52**, 31 y *Metrologia*, 1985, **21**, 90)*

* El CIPM decidió en 2002 modificar las explicaciones sobre la magnitud dosis equivalente en la Publicación sobre el SI (Recomendación 2, véase p. 81).

Recomendación 1

El Comité Internacional de Pesas y Medidas,

considerando la confusión que sigue existiendo en relación con la Resolución 5, votada por la 16ª Conferencia General de Pesas y Medidas (1979),

decide introducir la siguiente explicación en la publicación “El Sistema Internacional de Unidades (SI)”:

La magnitud dosis equivalente *H* es el producto de la dosis absorbida *D* de radiaciones ionizantes y de dos factores sin dimensión: *Q* (factor de calidad) y *N* (producto de todos los demás factores de multiplicación), prescritos por la Comisión Internacional de Protección Radiológica:

$$H = Q \cdot N \cdot D.$$

Así, para una radiación determinada, el valor numérico de *H* en julios por kilogramo puede resultar diferente del valor numérico de *D* en julios por kilogramo, puesto que depende de *Q* y *N.* Para evitar todo riesgo de confusión entre la dosis absorbida *D* y la dosis equivalente *H*, deben emplearse los nombres especiales para las unidades correspondientes; es decir, ha de utilizarse el nombre gray en lugar de julios por kilogramo para la unidad de dosis absorbida *D* y el nombre sievert en lugar de julios por kilogramo para la unidad de dosis equivalente *H.*

18ª CGPM, 1987

■ Previsión de modificación de las representaciones del voltio y del ohmio (CR, 100 y *Metrologia*, 1988, **25**, 115)

Resolución 6

La 18ª Conferencia General de Pesas y Medidas,

considerando

- que la uniformidad mundial y la estabilidad a largo plazo de las representaciones nacionales de las unidades eléctricas s on de una importancia fundamental para la ciencia, el comercio y la industria, tanto desde un punto de vista técnico como desde un punto de vista económico,
- que muchos laboratorios nacionales utilizan el efecto Josephson y empiezan a utilizar el efecto Hall cuántico para conservar las representaciones del voltio y del ohmio respectivamente, ya que proporcionan las mejores garantías de estabilidad a largo plazo,
- que por la importancia de la coherencia entre las unidades de medida de diversas magnitudes físicas los valores atribuidos a estas representaciones deben estar en un acuerdo tan próximo como sea posible al SI,
- que los resultados de los experimentos recientes y actuales permitirán establecer un valor aceptable, suficientemente compatible con el SI, para el coeficiente que relaciona cada uno de estos efectos a la unidad eléctrica correspondiente,

invita a los laboratorios cuyos trabajos puedan contribuir a establecer el valor del cociente tensión/frecuencia en el efecto Josephson y del cociente tensión/intensidad de corriente en el efecto Hall cuántico a continuar activamente estos trabajos y a comunicar sin dilación sus resultados al Comité Internacional de Pesas y Medidas, y

encarga al Comité Internacional de Pesas y Medidas recomendar, cuando lo juzgue posible, un valor para cada uno de estos cocientes, junto con una fecha en la que podrían ponerse en práctica simultáneamente en todos los países; estos valores deberían anunciarse al menos con un año de antelación y se adoptarían el 1 de enero de 1990.

CIPM, 1988

■ Representación del voltio mediante el efecto Josephson (PV, **56**, 44 y *Metrologia*, 1989, **26**, 69)

Recomendación 1

El Comité Internacional de Pesas y Medidas,

actuando de acuerdo con las instrucciones dadas en la Resolución 6 de la 18ª Conferencia General de Pesas y Medidas referente a la próxima modificación de las representaciones del voltio y del ohmio,

considerando

- que un estudio minucioso de los resultados de las determinaciones más recientes conduce a un valor de 483 597,9 GHz/V para la constante de Josephson, K_J, es decir, para el cociente entre la frecuencia y la diferencia de potencial correspondiente al escalón n = 1 en el efecto Josephson,
- que el efecto Josephson, con este valor de K_J, puede utilizarse para establecer un patrón de referencia de fuerza electromotriz cuya incertidumbre, a nivel de una desviación típica, con respecto al voltio se estima en 4×10^{-7} en valor relativo y cuya reproducibilidad es significativamente mejor,

recomienda

- que se adopte para la constante de Josephson, K_J, el valor convencional exacto de 483 597,9 GHz/V que se denota como K_{J-90}.
- que este nuevo valor se utilice a partir del 1 de enero de 1990, y no antes, para reemplazar los valores actualmente en uso,
- que este nuevo valor se utilice a partir de la misma fecha por todos los laboratorios que basen sus medidas de fuerza electromotriz en el efecto Josephson,
- que a partir de la citada fecha todos los demás laboratorios ajusten el valor de sus patrones de referencia para ponerlos de acuerdo con este nuevo valor,

es de la opinión de que en un futuro previsible no será necesario ningún cambio de este valor recomendado para la constante de Josephson, y

llama la atención de los laboratorios sobre el hecho de que el nuevo valor es superior en 3,9 GHz/V, aproximadamente 8×10^{-6} en valor relativo, al valor dado en 1972 por el Comité Consultivo de Electricidad en su Declaración E-72.

■ **Realización del ohmio mediante el efecto Hall cuántico** (PV, **56**, 20 y *Metrologia*, 1989, **26**, 70)

En su 89ª reunión en 2000, el CIPM aprobó la declaración de la 22ª reunión del CCEM referente al valor de la constante de von Klitzing, véase p. 78.

Recomendación 2

El Comité Internacional de Pesas y Medidas,

actuando de acuerdo con las instrucciones dadas en la Resolución 6 de la 18ª Conferencia General de Pesas y Medidas referente a la próxima modificación de las representaciones del voltio y del ohmio,

considerando

- que la mayor parte de los patrones actuales de referencia de resistencia eléctrica cambian significativamente con el tiempo,
- que un patrón de referencia de resistencia eléctrica basado en el efecto Hall cuántico sería estable y reproducible,
- que un estudio minucioso de los resultados de las determinaciones más recientes conduce a un valor de 25 812,807 Ω para la constante de von Klitzing, R_K, es decir, para el cociente de la tensión Hall dividida por la intensidad de corriente correspondiente a la meseta i = 1 en el efecto Hall cuántico,
- que el efecto Hall cuántico, con este valor de R_K, puede utilizarse para establecer un patrón de referencia de resistencia cuya incertidumbre, a nivel de una desviación típica, respecto al ohmio se estima en 2×10^{-7} en valor relativo y cuya reproducibilidad es significativamente mejor,

recomienda

- que se adopte para la constante de von Klitzing, RK, un valor convencional exacto de 25 812,807 Ω, denotado por RK-90.
- que este valor se utilice a partir del 1 de enero de 1990, y no antes, por todos los laboratorios que basen sus medidas de resistencia eléctrica en el efecto Hall cuántico,
- que desde la misma fecha todos los demás laboratorios ajusten el valor de sus patrones de referencia para ponerlos de acuerdo con $R_{K\text{-}90}$,
- que, cuando se use el efecto Hall cuántico para establecer un patrón de referencia de resistencia eléctrica, los laboratorios sigan la edición más reciente de las guías técnicas para medidas fiables de la resistencia Hall cuantizada elaboradas por el Comité Consultivo de Electricidad y publicadas por la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, y

es de la opinión de que en un futuro previsible no será necesario ningún cambio de este valor recomendado para la constante de von Klitzing.

CIPM, 1989

■ La Escala Internacional de Temperatura de 1990 (PV, **57**, 26 y *Metrologia*, 1990, **27**, 13)

Recomendación 5

El Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM), de acuerdo con la Resolución 7 de la 18ª Conferencia General de Pesas y Medidas en 1987, ha adoptado la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (ITS-90) en sustitución de la Escala Internacional Práctica de Temperatura de 1968 (IPTS-68).

El CIPM **destaca** que, respecto a la IPTS-68, la ITS-90

- se extiende hacia las temperaturas más bajas, hasta 0,65 K y así, también sustituye a la Escala Provisional de Temperatura de 1976 (EPT-76),
- está sustancialmente en mejor acuerdo con las temperaturas termodinámicas correspondientes,
- ha mejorado mucho su continuidad, precisión y reproducibilidad en todo su rango, y
- tiene subrangos y definiciones alternativas en ciertos rangos que facilitan grandemente su uso.

El CIPM **hace notar** además, que para acompañar el texto de la ITS-90 habrá otros dos documentos, el *Supplementary Information for the ITS-90* y *Techniques for Approximating the ITS-90*, que serán publicadas por el BIPM y puestas al día periódicamente.

El CIPM **recomienda**

- que la ITS-90 entre en vigor el 1 de enero de 1990, y
- que, desde esa misma fecha, la IPTS-68 y la EPT-76 sean derogadas.

19ª CGPM, 1991

■ Prefijos SI zetta, zepto, yotta y yocto (CR, 97 y *Metrologia*, 1992, **29**, 3)

Resolución 4

La 19ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM)

decide añadir a la lista de prefijos SI que se usan para los múltiplos y submúltiplos de las unidades, adoptada por la 11ª CGPM, Resolución 12, párrafo 3, la 12ª CGPM, Resolución 8 y la 15ª CGPM, Resolución 10, los prefijos siguientes:

Los nombres zepto y zetta se derivan de septo, evocando la cifra siete (séptima potencia de 10^3) y la letra "z" reemplaza a la letra "s" para evitar el doble empleo de la letra "s" como símbolo.

Factor por el que se multiplica la unidad	Prefijo	Símbolo
10^{21}	zetta	Z
10^{-21}	zepto	z
10^{24}	yotta	Y
10^{-24}	yocto	y

Los nombres yocto y yotta se derivan de octo, evocando el número ocho (octava potencia de 10^3); la letra "y" se añade para evitar el empleo de la letra "o" como símbolo a causa de la posible confusión con el número cero.

20ª CGPM, 1995

■ **Supresión de la clase de las unidades suplementarias en el SI** (CR, 121 y *Metrologia*, 1996, **33**, 83)

Resolución 8

La 20ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando

- que la 11ª Conferencia General, en 1960, en su Resolución 12 que establecía el Sistema Internacional de Unidades, SI, distinguía tres clases de unidades, las unidades básicas, las unidades derivadas y las unidades suplementarias, comprendiendo esta última el radián y el estereorradián,
- que la situación de las unidades suplementarias, en relación con las unidades básicas y las unidades derivadas, ha dado lugar a discusión,
- que el Comité Internacional de Pesas y Medidas, en 1980, constatando que la situación ambigua de las unidades suplementarias compromete la coherencia interna del SI, ha interpretado en su Recomendación 1 (CI-1980) las unidades suplementarias en el SI, como unidades derivadas sin dimensiones,

aprobando la interpretación dada por el Comité Internacional en 1980,

decide

- interpretar las unidades suplementarias en el SI, es decir el radián y el estereorradián, como unidades derivadas adimensionales, cuyos nombres y símbolos pueden utilizarse, aunque no necesaria mente, en las expresiones de otras unidades SI derivadas, cuando se considere oportuno, y
- en consecuencia, suprimir la clase de las unidades suplementarias como clase separada en el SI.

21ª CGPM, 1999

■ **La definición del kilogramo** (CR, 141-142 y *Metrologia*, 2000, **37**, 94)

Resolución 7

La 21ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando

- la necesidad de asegurar la estabilidad a largo plazo del Sistema Internacional de Unidades (SI),
- la incertidumbre intrínseca relativa a la estabilidad a largo plazo del prototipo que define la unidad de masa, una de las unidades básicas del SI,
- que esta incertidumbre repercute sobre la estabilidad a largo plazo de otras tres unidades básicas del SI cuy a definición depende de la del kilogramo; a saber, el amperio, el mol y la candela,

- los progresos y a alcanzados en diferentes experimentos diseñados para enlazar la unidad de masa a constantes fundamentales o atómicas,
- lo deseable que es tener más de un método para efectuar este enlace,

recomienda que los laboratorios nacionales prosigan sus esfuerzos para mejorar los experimentos que relacionan la unidad de masa con las constantes fundamentales o atómicas y que podrían, en el futuro, servir de base para una redefinición del kilogramo.

■ Nombre especial dado a la unidad SI mol por segundo, el katal, para expresar la actividad catalítica (CR, 145 y *Metrologia*, 2000, **37**, 95)

Resolución 12

La 21ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM),

considerando

- la importancia para la salud y la seguridad humanas de facilitar el empleo de unidades SI en los campos de la medicina y de la bioquímica,
- que una unidad no SI llamada "unidad", símbolo U, igual a 1 μmol·min^{-1}, no coherente con el Sistema Internacional de Unidades (SI), se ha estado usando ampliamente en medicina y en bioquímica desde 1964 para expresar la actividad catalítica,
- que la ausencia de un nombre especial para designar la unidad derivada coherente del SI mol por segundo ha conducido a que los resultados de las medidas clínicas se proporcionen en diferentes unidades locales,
- que el empleo de unidades SI en medicina y en química se encuentra especialmente recomendado por las uniones internacionales en estos campos,
- que la Federación Internacional de Química Clínica y Medicina de Laboratorio ha solicitado al Comité Consultivo de Unidades que recomiende el nombre especial katal, símbolo kat, para la unidad SI mol por segundo,
- que aunque la proliferación de nombres especiales representa un peligro para el SI, existen excepciones para ciertos casos relacionados con la salud y la seguridad humanas (15ª Conferencia General, 1975, Resolución 8 y 9, 16ª Conferencia General, 1979, Resolución 5),

observando que el nombre katal, símbolo kat, se ha utilizado como la unidad SI mol por segundo desde hace más de treinta años, para expresar la actividad catalítica,

decide adoptar el nombre especial katal, símbolo kat, para la unidad SI mol por segundo, para expresar la actividad catalítica, particularmente en los campos de la medicina y de la bioquímica, y

recomienda que, cuando se utilice el katal, se especifique el mensurando haciendo referencia al procedimiento de medida; el procedimiento de medida debe identificar la reacción indicadora.

CIPM, 2000

■ "uso del valor de la constante de von Klitzing para expresar el valor de un patrón de referencia de resistencia en función del efecto Hall cuántico" (PV, **68**, 34)

En su 89ª reunión de 2000, el CIPM aprobó la declaración de la 22ª reunión del CCEM (CCEM, **22**, 22) que sigue:

"El CCEM, habiendo revisado el ajuste por mínimos cuadrados de las constantes fundamentales de CODATA de 1998, es ahora de la opinión de que el efecto Hall cuántico, junto con el valor de la constante de von Klitzing, $R_{K\text{-}90}$, puede utilizarse para establecer un

patrón de referencia de resistencia con una incertidumbre relativa de 1×10^{-7}respecto al ohmio, al nivel de una desviación típica, y una reproducibilidad que es significativamente mejor. Esto representa una reducción de la incertidumbre en un factor dos comparado con la recomendación de 1988."

CIPM, 2001

■ **"unidades SI" y "unidades del SI"** (PV*,* **69***,* 38-39)

El CIPM ha aprobado en 2001 la siguiente propuesta del CCU referente a las "unidades SI" y a las "unidades del SI":

"Se requiere que los términos "unidades SI" y "unidades del SI" hagan ambos referencia a las unidades básicas y a las unidades derivadas coherentes, así como todas las unidades obtenidas al combinarlas con los prefijos recomendados de múltiplos y submúltiplos.

Sugerimos que el término "unidades SI coherentes" se utilice cuando se desee restringir su sentido exclusivamente a las unidades básicas y a las unidades derivadas coherentes."

CIPM, 2002

■ **Revisión de la realización práctica de la definición del metro** (PV*,* **70***,* 90-93 y *Metrologia*, **40**, 103-133)

Recomendación 1

El Comité Internacional de Pesas y Medidas,

recordando

- que en 1983 la 17ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) adoptó una nueva definición del metro;
- que en la misma fecha la CGPM invitó al Comité Internacional (CIPM)
  - a preparar las instrucciones para la realización práctica del metro,
  - a elegir radiaciones que pudieran recomendarse como patrones de longitud de onda para la medición de longitudes por interferometría y a preparar sus instrucciones de uso,
  - a continuar los estudios iniciados para mejorar dichos patrones y a completar o revisar en consecuencia sus instrucciones;
- que en respuesta a esta invitación el CIPM adoptó la Recomendación 1 (CI-1983) (*puesta en práctica* de la definición del metro) que dice
  - que el metro debe realizarse por uno de los métodos siguientes:

  (a) mediante la longitud l del trayecto recorrido en el vacío por una onda electromagnética plana durante el intervalo t; esta longitud se obtiene a partir de la medida del intervalo t, empleando la relación $l = c_0 \cdot t$ y el valor de la velocidad de la luz en el vacío c_0 = 299 792 458 m/s,

  (b) mediante la longitud de onda en el vacío λ de una onda electromagnética plana de frecuencia f; esta longitud de onda se obtiene a partir de la medida de la frecuencia f, empleando la relación $\lambda = c_0 / f$ y el valor de la velocidad de la luz en el vacío c_0 = 299 792 458 m/s,

  (c) mediante una de las radiaciones de la lista que sigue, cuya longitud de onda en el vacío determinada o cuya frecuencia determinada pueden emplearse con la incertidumbre indicada, siempre que se observen las condiciones especificadas y las buenas prácticas aceptadas;

- que en todos los casos se apliquen las correcciones necesarias para tener en cuenta las condiciones reales como difracción, gravedad o imperfección del vacío;
- que en el contexto de la relatividad general, el metro se considere como unidad de longitud propia. Su definición es válida por tanto sólamente en una zona especial suficientemente pequeña, para la cual los efectos de la no uniformidad del campo gravitatorio puedan despreciarse (obsérvese que, en la superficie de la Tierra, este efecto es del orden de 1×10^{-16} por metro de altitud en valor relativo). En ese caso, los únicos efectos a considerar son los de la relatividad especial. Los métodos locales recomendados en (b) y (c) para realizar el metro, proporcionan el metro propio, pero no necesariamente el método indicado en (a). El método (a) debería pues quedar restringido a longitudes *l* suficientemente cortas para que los efectos predichos por la relatividad general sean despreciables en relación con las incertidumbres de medida. Para consejos sobre la interpretación de las medidas cuando no sea el caso, consultar el informe del Grupo de Trabajo del Comité Consultivo de Tiempo y Frecuencia (CCTF) sobre la Aplicación de la Relatividad General a la Metrología (Aplicación de la Relatividad General a la Metrología, *Metrologia*, 1997, **34**, 261-290);

- que el CIPM ya había recomendado una lista de radiaciones a este efecto;

recordando también que en 1992 y en 1997 el CIPM revisó la realización práctica de la definición del metro;

considerando

- que la ciencia y la tecnología continúan exigiendo una mayor exactitud en la realización del metro;
- que, desde 1997, los trabajos desarrollados en los laboratorios nacionales, en el BIPM y en otros laboratorios han permitido identificar nuevas radiaciones y métodos para su realización que conducen a menores incertidumbres;
- que cada vez se emplean más las frecuencias ópticas en las actividades relacionadas con el tiempo y que se continúa ampliando el campo de aplicación de las radiaciones recomendadas de la *puesta en práctica* para cubrir no sólo la metrología dimensional y la realización del metro, sino también la espectroscopía de alta resolución, la física atómica y molecular, las constantes fundamentales y las telecomunicaciones;
- que se dispone ahora de un cierto número de nuevos valores más exactos de las incertidumbres de frecuencias de radiación de átomos y de iones enfriados muy estables, ya mencionados en la lista de radiaciones recomendadas, que se han medido recientemente las frecuencias de las radiaciones de varios átomos y especies iónicas enfriados, y que se han determinado nuevos valores mejorados, con incertidumbres significativamente reducidas, de un cierto número de patrones de frecuencias ópticas basados en células de gas, incluyendo el rango de longitudes de onda de interés para las telecomunicaciones ópticas;
- que las nuevas técnicas de peines de frecuencias láser presentan un manifiesto interés para relacionar la frecuencia de los patrones de frecuencia óptica de gran estabilidad con la de los patrones de frecuencia que realizan el segundo SI, que estas técnicas suponen un método de medida conveniente para proporcionar trazabilidad al SI y que la tecnología de peines de frecuencia puede proporcionar tanto fuentes de frecuencia como técnicas de medida;

reconoce las técnicas de peines de frecuencias como oportunas y apropiadas y recomienda continuar investigando para estudiar sus posibilidades;

acoge favorablemente las validaciones de las técnicas de peines de frecuencias que se están efectuando por comparación con otras técnicas de cadenas de frecuencias;

anima a los laboratorios nacionales de metrología y a otros laboratorios a continuar los estudios de las técnicas de peines de frecuencias al más alto nivel posible de exactitud y a intentar simplificarlas para difundir su aplicación,

recomienda

- que la lista de radiaciones recomendadas establecida por el CIPM en 1997 (Recomendación 1 (CI-1997)) se sustituya por la lista de radiaciones que sigue*, la cual incluye
  - valores actualizados de la frecuencia del átomo de Ca enfriado, del átomo de H y del ión confinado Sr^+,
  - valores de frecuencia de nuevas especies iónicas enfriadas, incluyendo al ión Hg^+ confinado, al ión confinado In^+y al ión confinado Yb^+,
  - valores actualizados de la frecuencia de láseres estabilizados de Rb, de láseres de Nd:YAG o de He-Ne estabilizados con I_2, de láseres de He-Ne estabilizados con metano y de láseres de CO_2 estabilizados con OsO_4 en 10 μm,
  - valores de la frecuencia de patrones importantes para comunicaciones ópticas, que incluyen los láseres estabilizados de Rb- y C_2H_2.

. . .

* La lista de radiaciones recomendadas, Recomendación 1 (CI-2002), se encuentra en PV, **70**, 93-101 y en *Metrologia*, 2003, **40**, 104-115.

Las actualizaciones se encuentran disponibles en la página de Internet del BIPM en la dirección www.bipm.org/en/publications/mep.html.

■ **Dosis Equivalente** (PV, **70**, 102)

Véase también *J. Radiol. Prot.*, 2005, **25**, 97-100.

Recomendación 2

El Comité Internacional de Pesas y Medidas,

considerando que

- la definición actual de la unidad SI de dosis equivalente (sievert) comprende un factor "*N*" (producto de todos los demás factores multiplicativos) prescrito por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP),
- la ICRP y la Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiación (ICRU) han decidido suprimir este factor *N* que no se considera ya necesario,
- la definición actual de la dosis equivalente *H* en el SI, que incluye el factor *N*, induce a confusión,

decide modificar la explicación proporcionada en la Publicación sobre "El Sistema Internacional de Unidades (SI)" de la forma siguiente:

La magnitud dosis equivalente *H* es el producto de la dosis absorbida *D* de radiaciones ionizantes y del factor adimensional *Q* (factor de calidad) definido en función de la transferencia lineal de energía por la ICRU:

$$H = Q\,D.$$

Así, para una radiación dada, el valor numérico de *H* en julios por kilogramo puede ser diferente del valor *D* en julios por kilogramo, dado que es función del valor de *Q*.

El Comité **decide** pues mantener la última frase de la explicación en la forma siguiente:

A fin de evitar todo riesgo de confusión entre la dosis absorbida *D* y la dosis equivalente *H*, deben emplearse los nombres especiales para las unidades correspondientes; es decir, ha de utilizarse el nombre gray en lugar de julio por kilogramo para la unidad de dosis absorbida *D* y el nombre sievert en lugar de julio por kilogramo para la unidad de dosis equivalente *H*.

CIPM, 2003

Las actualizaciones se encuentran disponibles en la página de Internet del BIPM en la dirección www.bipm.org/en/publications/mep.html

■ **Revisión de la lista de radiaciones recomendadas para la *Puesta en práctica* de la definición del metro** (PV, **71**, 70 y *Metrologia*, 2004, **41**, 99-100)

Recomendación 1

El Comité Internacional de Pesas y Medidas,

considerando que

- se dispone recientemente de mejores valores de las frecuencias de las radiaciones de ciertos patrones de iones enfriados de gran estabilidad, ya documentados en la lista de radiaciones recomendadas;
- se han determinado mejores valores de frecuencias de patrones de frecuencia óptica en el infrarrojo, basados en células de gas, en la región de las telecomunicaciones ópticas, valores ya publicados en la lista de radiaciones recomendadas;
- se han efectuado recientemente y por primera vez medidas de frecuencia mediante peines de frecuencias láser de ciertos patrones basados en células de yodo, que figuran en la lista complementaria de radiaciones recomendadas, medidas que conducen a una reducción considerable de la incertidumbre;

propone que la lista de *radiaciones recomendadas* se revise para incluir:

- los valores actualizados de la frecuencia de la transición cuadripolar del ión confinado $^{88}Sr^{+}$ y la transición octopolar del ión confinado $^{171}Yb^{+}$;
- el valor actualizado de la frecuencia del patrón estabilizado con C_2H_2 en 1,54 μm;
- los valores actualizados de los patrones estabilizados con I_2 en 543 nm y 515 nm.

22ª CGPM, 2003

■ **Símbolo del separador decimal** (CR, 169 y *Metrologia*, 2004, **41**, 104)

Resolución 10

La 22ª Conferencia General, considerando que

- uno de los objetivos principales del Sistema Internacional de Unidades (SI) es permitir expresar el valor de las magnitudes de una forma fácilmente comprensible en todo el mundo,
- el valor de una magnitud se expresa normalmente por un número de veces una unidad,
- a menudo el número utilizado para expresar el valor de una magnitud contiene muchas cifras, con una parte entera y una parte decimal,
- la 9ª Conferencia General en su Re solución 7 (1948) había decidido que “En los números, la coma (uso francés) o el punto (uso inglés) se utilicen únicamente para separar la parte entera de los números de su parte decimal”,
- siguiendo la decisión del Comité Internacional en su 86ª reunión (1997), la Oficina Internacional de Pesas y Medidas utiliza actualmente el punto (sobre la línea) como separador decimal en todas las versiones en inglés de sus publicaciones, incluido el texto inglés de la Publicación sobre el SI (la referencia internacional definitiva sobre el SI), mientras que continúa empleando la coma (sobre la línea) como separador decimal en todas sus publicaciones en francés,
- sin embargo, ciertas organizaciones internacionales emplean la coma sobre la línea como separador decimal en sus documentos en inglés,
- además, algunas organizaciones internacionales, incluyendo algunas organizaciones internacionales de normalización, especifican que el separador decimal debe ser la coma sobre la línea en todos los idiomas,
- la recomendación de usar la coma sobre la línea como separador decimal está, en muchos idiomas, en conflicto con la costumbre de utilizar el punto sobre la línea como separador decimal,
- para algunos idiomas que son maternos para más de un país, se usa el punto sobre la línea o la coma sobre la línea como separador decimal dependiendo del país, mientras que otros países con más de un idioma materno usan el punto sobre la línea o la coma sobre la línea según el idioma,

declara que el símbolo del separador decimal podrá ser el punto sobre la línea o la coma sobre la línea,

reafirma que “Para facilitar la lectura, los números pueden ser separados en grupos de tres cifras, no insertando nunca puntos ni comas en los espacios entre grupos”, como declaró la Resolución 7 de la 9ª CGPM de 1948.

CIPM, 2005

■ Aclaración de la definición del kelvin, unidad de temperatura termodinámica (PV, **94**, en imprenta y *Metrologia*, 2006, **43**, 177-178)

Recomendación 2

El Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM),

considerando

- que el kelvin, unidad de temperatura termodinámica, se define como la fracción 1/273,16 de la temperatura termodinámica del punto triple del agua,
- que la temperatura del punto triple del agua depende de las proporciones relativas de los isótopos de hidrógeno y de oxígeno presentes en la muestra utilizada,
- que este efecto es ahora una de las mayores fuentes de la variabilidad observada entre las diferentes realizaciones del punto triple del agua,

decide

- que la definición del kelvin se refiera a un agua de composición isotópica específica,
- que dicha composición isotópica del agua es la siguiente:

  0,000 155 76 moles de ^{2}H por mol de ^{1}H,

  0,000 379 9 moles de ^{17}O por mol de ^{16}O, y

  0,002 005 2 moles de ^{18}O por mol de ^{16}O,

que es la composición del material de referencia de la Agencia Internacional de la Energía Atómica “Patrón de Viena de Agua Media del Océano (VSMOW)”, recomendada por la UIPAC en “Atomic Weigths of the Elements: Review 2000”.

- que esta composición debe declararse en una nota unida a la definición del kelvin en la Publicación del SI de la manera siguiente:

“Esta definición se refiere al agua de composición isotópica definida exactamente por los cocientes de cantidad de sustancia siguientes: 0,000 155 76 moles de ^{2}H por mol de ^{1}H, 0,000 379 9 moles de ^{17}O por mol de ^{16}O y 0,002 005 2 moles de ^{18}O por mol de ^{16}O”.

■ Revisión de la lista de radiaciones recomendadas para la *Puesta en práctica* de la definición del metro (PV, **94**, en imprenta y *Metrologia*, 2006, **43**, 178)

Recomendación 3

El Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM),
considerando que

- se dispone desde hace poco tiempo de mejores valores de las frecuencias de radiación de ciertos patrones de iones o de átomos enfriados de gran estabilidad, ya publicados en la lista de radiaciones recomendadas;
- se han determinado mejores valores de la s frecuencias de patrones de frecuencia óptica, en el infrarrojo, ya documentados en la lista de radiaciones recomendadas;
- se han determinado mejores valores de las frecuencias de ciertos patrones basados en células de yodo, valores y a publicados en la lista complementaria de fuentes recomendadas;

- se han efectuado por primera vez medidas de la frecuencia de nuevos átomos enfriados, de átomos en la región del infrarrojo cercano y de moléculas en la región de las telecomunicaciones ópticas, con ayuda de peines de frecuencias láser;

decide que la lista de *radiaciones recomendadas* se revise para incluir:

- los valores actualizados de las frecuencias de las transiciones cuadripolares del ión confinado $^{88}Sr^{+}$, del ión confinado $^{199}Hg^{+}$ y del ión confinado $^{171}Yb^{+}$;
- el valor actualizado de la frecuencia de la transición del átomo Ca;
- el valor actualizado de la frecuencia del patrón estabilizado con C_2H_2 a 1,54 μm;
- el valor actualizado de la frecuencia del patrón estabilizado con yodo a 515 nm;
- la adición de la transición del átomo de ^{87}Sr a 698 nm;
- la adición de la transición de dos fotones del átomo de ^{87}Rb a 760 nm;
- la adición de la banda ($\nu1+\nu3$) del $^{12}C_2H_2$ y de las bandas ($\nu1+\nu3$) y ($\nu1+\nu3+\nu4+\nu5$) del $^{13}C_2H_2$, a 1,54 µm.

Anexo 2. Realización práctica de las definiciones de las principales unidades

El anexo 2 sólo se publica en formato electrónico, estando disponible en la página web del BIPM en la dirección: www.bipm.org/fr/si/si_brochure/appendix2/.

Anexo 3. Unidades para magnitudes fotoquímicas y fotobiológicas

Las radiaciones ópticas son capaces de causar cambios químicos en ciertos materiales vivos o inertes. Esta propiedad se denomina actinismo y las radiaciones capaces de causar tales cambios son llamadas radiaciones actínicas. Las radiaciones actínicas poseen la propiedad fundamental de que, a escala molecular, un fotón interacciona con una molécula para alterar o romper dicha molécula en especies moleculares nuevas. Por tanto es posible definir magnitudes fotoquímicas o fotobiológicas específicas en función del efecto de la radiación óptica sobre los receptores químicos o biológicos asociados.

Las definiciones de las magnitudes y de las unidades fotométricas se publican en *el Vocabulario Internacional de Iluminación*, publicación IEC 17.4 (1987), o en el *Vocabulario Electrotécnico Internacional*, publicación IEC 50, capítulo 845: Iluminación.

En el campo de la metrología, la única magnitud fotobiológica que se ha definido formalmente para medidas en el SI es la interacción de la luz con el ojo humano en la visión. Para esta importante magnitud fotobiológica, se ha definido una unidad básica del SI, la candela. Igualmente se han definido otras varias magnitudes fotométricas, cuyas unidades derivan de la candela (como el lumen o el lux, véase la tabla 3, capítulo 2, p. 28).

1 Espectro de acción actínica

La radiación óptica puede caracterizarse por su distribución espectral de potencia. Los mecanismos según los cuales la radiación óptica se absorbe por el sistema químico o biológico son normalmente muy complejos y son siempre función de la longitud de onda (o de la frecuencia). Para propósitos metrológicos, sin embargo, puede ignorarse la complejidad de los mecanismos de absorción y el efecto actínico se caracteriza simplemente por un espectro de acción actínica que relaciona la respuesta fotoquímica o fotobiológica con la radiación incidente. Este espectro de acción actínica describe la eficacia relativa de una radiación óptica monocromática de longitud de onda λ para producir una respuesta actínica determinada. Se proporciona en valor relativo, normalizado a 1 para el máximo de eficacia. Generalmente, los espectros de acción actínica se definen y recomiendan por las organizaciones internacionales científicas o de normalización.

Para la visión la CEI ha definido dos espectros de, aprobados por el CIPM: $V(\lambda)$ para la visión fotópica y $V'(\lambda)$ para la visión escotópica. Se emplean en las medidas de magnitudes fotométricas y son una parte implícita de la definición de la unidad SI en fotometría, la candela. La visión fotópica se detecta en la retina del ojo por los conos, que son sensibles a los niveles altos de luminancia ($L > 10$ cd m^{-2}), y se usan para la visión diurna. La visión escotópica se detecta en la retina del ojo por los bastones, que son sensibles a los niveles bajos de luminancia ($L < 10^{-3}$cd m^{-2}), y se usan para la visión nocturna. Entre estos niveles de luminancia se usan tanto los conos como los bastones, denominándose visión mesópica.

Principios rectores en fotometría, *Monografía BIPM,* 1983, 32 pp.

La CEI ha definido otros espectros de acción actínica, como el espectro de acción del eritema (enrojecimiento de la piel) debido a las radiaciones ultravioleta, pero no han recibido consideración particular en el SI.

2 Medida de magnitudes fotoquímicas y fotobiológicas; unidades correspondientes

Las magnitudes y unidades fotométricas actualmente en uso en el dominio de la visión están bien establecidas y han sido ampliamente utilizadas durante mucho tiempo. No les afectan las siguientes reglas. Para todas las demás magnitudes fotoquímicas o fotobiológicas, deben aplicarse las reglas siguientes para definir las unidades a emplear.

Una magnitud fotoquímica o fotobiológica se define en términos puramente físicos como una magnitud derivada de la magnitud radiométrica correspondiente, por la evaluación del efecto de la radiación según su acción sobre un receptor selectivo cuya sensibilidad espectral se define mediante el espectro de acción actínica del efecto fotoquímico o fotobiológico considerado. La magnitud viene dada por la integral sobre la longitud de onda de la distribución espectral de la magnitud radiométrica considerada, ponderada por el espectro de acción actínica adecuado. El uso de una integral supone implícitamente una ley de adición aritmética de las magnitudes actínicas, aunque tal ley no la cumplen perfectamente los efectos actínicos reales. El espectro de acción es una magnitud relativa, adimensional, con unidad SI uno. La magnitud radiométrica tiene su propia unidad radiométrica correspondiente. Así, de acuerdo con la regla para la obtención de la unidad SI de una magnitud derivada, la unidad de la magnitud fotoquímica o fotobiológica es la de la magnitud radiométrica correspondiente. Cuando se dé un valor cuantitativo, es indispensable especificar si se trata de una magnitud radiométrica o de una magnitud actínica, puesto que las unidades son las mismas. Si para un efecto actínico existen varios espectros de acción, el espectro de acción empleado en las medidas ha de especificarse claramente. Esta forma de definir las unidades a utilizar con las magnitudes fotoquímicas y fotobiológicas ha sido recomendada por el Comité Consultivo de Fotometría y Radiometría en su 9ª reunión en 1977.

A título de ejemplo, la irradiancia eritémica efectiva E_{er} de una fuente de radiación ultravioleta se obtiene ponderando la irradiancia espectral de la radiación a la longitud de onda λ, con la efectividad de dicha radiación para provocar un eritema a la citada longitud de onda, y extendiendo la suma al conjunto de todas las longitudes de onda presentes en el espectro de la fuente. Esto puede expresarse matemáticamente de la forma siguiente:

$$E_{er} = \int E_{\lambda}\, s_{er}(\lambda)\mathrm{d}\lambda$$

donde E_{λ} es la irradiancia espectral para la longitud de onda λ (normalmente expresada en la unidad SI W m^{-2}nm^{-1}) y $s_{er}(\lambda)$ el espectro de acción del eritema, normalizado a 1, su valor máximo espectral. La irradiancia eritémica, E_{er}, determinada de esta forma, se expresa en la unidad SI W m^{-2}.

Listado de siglas y acrónimos utilizados en esta publicación*

1 Siglas y acrónimos de laboratorios, comités y conferencias

BAAS	British Association for the Advancement of Science (Asociación Británica para el Avance de la Ciencia)
BIH	Bureau International de l'Heure (Oficina Internacional de la Hora)
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures (Oficina Internacional de Pesas y Medidas)
CARICOM	Caribean Community (Comunidad Caribeña)
CCAUV	Comité Consultatif de l'Acoustique, des Ultrasons et des Vibrations (Comité Consultivo de Acústica, Ultrasonidos y Vibraciones)
CCDS*	Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (Comité Consultivo para la Definición del Segundo) (véase CCTF)
CCE*	Comité Consultatif d'Électricité (Comité Consultivo de Electricidad) (véase CCEM)
CCEM	Comité Consultatif d'Électricité et Magnétisme (Comité Consultivo de Electricidad y Magnetismo) (antes CCE)
CCL	Comité Consultatif des Longueurs (Comité Consultivo de Longitud)
CCM	Comité Consultatif pour la Masse et les Grandeurs Apparentées (Comité Consultivo de Masa y Magnitudes Relacionadas)
CCPR	Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (Comité Consultivo de Fotometría y Radiometría)
CCQM	Comité Consultatif pour la Quantité de Matière: Métrologie en Chimie (Comité Consultivo de Cantidad de Sustancia: Metrología en Química)
CCRI	Comité Consultatif des Rayonnements Ionisants (Comité Consultivo de Radiaciones Ionizantes)
CCT	Comité Consultatif de Thermométrie (Comité Consultivo de Termometría)
CCTF	Comité Consultatif du Temps et des Fréquences (Comité Consultivo de Tiempo y Frecuencia) (antes CCDS)
CCU	Comité Consultatif des Unités (Comité Consultivo de Unidades)
CGPM	Conférence Générale des Poids et Mesures (Conferencia General de Pesas y Medidas)
CIE	Commission Internationale de l'Éclairage (Comisión Internacional de Iluminación)
CIPM	Comité International des Poids et Mesures (Comité Internacional de Pesas y Medidas)
CODATA	Committee on Data for Science and Technology (Comité de Datos para la Ciencia y la Tecnología)
CR	*Comptes Rendus* de la Conferencia General de Pesas y Medidas, CGPM
IAU	International Astronomical Union (Unión Astronómica Internacional)

* Los comités marcados con un asterisco ya no existen o poseen sigla o acrónimo diferente.

ICRP	International Commission on Radiological Protection (Comisión Internacional de Protección Radiológica)
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements (Comisión Internacional sobre Unidades y Medidas de Radiación)
IEC	International Electrotechnical Commission (Comisión Electrotécnica Internacional)
IERS	International Earth Rotation and Reference Systems Service (Servicio Internacional de Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia)
ISO	International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada)
IUPAP	International Union of Pure and Applied Physics (Unión Internacional de Física Pura y Aplicada)
OIML	Organisation Internationale de Métrologie Légale (Organización Internacional de Metrología Legal)
PV	*Procès-Verbaux* del Comité Internacional de Pesas y Medidas, CIPM
SUNAMCO	Commission for Symbols, Units, Nomenclature, Atomic Masses and Fundamental Constants (IUPAP) (Comisión para Símbolos, Unidades, Nomenclatura, Masas Atómicas y Constantes Fundamentales)
WHO	World Health Organization (Organización Mundial de la Salud)

2 Siglas y acrónimos de términos científicos

CGS	Sistema tridimensional coherente de unidades basado en las tres unidades mecánicas centímetro, gramo y segundo
EPT-76	Échelle Provisoire de Température de 1976 (Escala Provisional de Temperatura de 1976)
IPTS-68	International Practical Temperature Scale of 1968 (Escala Práctica Internacional de Temperatura de 1968)
ITS-90	International Temperature Scale of 1990 (Escala Internacional de Temperatura de 1990)
MKS	Sistema de unidades basado en las tres unidades mecánicas metro, kilogramo y segundo
MKSA	Sistema tetradimensional de unidades basado en el metro, el kilogramo, el segundo y el amperio
SI	Système International d'Unités (Sistema Internacional de Unidades)
TAI	Temps Atomique International (Tiempo Atómico Internacional)
TCG	Temps-Coordonnée Géocentrique (Tiempo Coordinado Geocéntrico)
TT	Terrestrial Time (Tiempo Terrestre)
UTC	Universal Coordinated Time (Tiempo Universal Coordinado)
VSMOW	Vienna Standard Mean Ocean Water (Patrón de Viena de Agua Media del Océano)

Índice

Los números en negrita indican las páginas donde se encuentran las definiciones de las unidades o de los términos.

A

absolutas, unidades, 23
absorbida, dosis, 18, 28-30, 68, 70-73, 81
aceleración de la gravedad, valor normal de (*gn*), 55
actínica, radiación, 18, 87
actinismo, 18, 87
actividad de un radionucleido, 28-30, 64, 66, 70
agua, composición isotópica del, 24, 83
amperio (A), 20, **23**, 27, 56, 58, 59, 61
arcosegundo (segundo de arco), 35
astronómica, unidad, 36-37
atmósfera estándar, 38, **59**
atómica, física 36
atómicas, unidades, 36-37
atómico, peso, 24
átomo-gramo, 24
Avogadro, constante de, 25, 36

B

BAAS, Asociación Británica para el Avance de la Ciencia, 19
bar, 38, 58
barn, 39
básica(s), unidad(es), **13**-14, 19-20, 59-61, 67
básica, magnitud, **13**-16, 26
becquerel (Bq), 28, 30, 64, **70**
belio (B), 38-39, 46
biológicas, magnitudes, 18
Bohr, radio de, bohr, 36-37

C

caloría, 57-58
calorífica, capacidad, 29, 43
candela (cd), 14, 20-21, **26**-27, 58-62, 66, 70-71; nueva candela, 55, 67
cantidad de sustancia, 15, 24-**25**, 68-**69**
Celsius, temperatura, 24, 28, 43, 55
CGS, 20, 40, 57
CGS-EMU, 15, 40
CGS-ESU, 15, 40
CGS-Gaussiano, 15, 40
cinemática, viscosidad,(stokes), 40
clínica, química, 25, 78
CODATA, 37, 78
coherentes, unidades derivadas, 16, 27-30, 79
Convención del Metro, 20
culombio (C), 28, **56**, 58, 62
Coulomb, ley, 15
curie (Ci), 64

D

dalton (Da), 36-38
decibelio (dB), 38-39, 46
decimal, separador, 12, 45, 82-83
decimal, sistema métrico, 19
definiciones de las unidades básicas, **21-26**
derivada(s), unidad(es), **13**, 27-30, **66**
derivada, magnitud, **13**, 15, 27-30
desdoblamiento hiperfino del átomo de cesio, 23
día (d), 33, 35
dimensión, magnitudes sin, 16, 27, **30**, 44, 72
dimensionales, símbolos, 15
dina (dyn), 40, 58
dinámica, viscosidad (poise), 40, 58
dosis equivalente, ver sievert

E

ecuaciones electromagnéticas de cuatro magnitudes, 14
eléctrica, corriente, 14-15, 23, 26, 56, 59, 61
eléctricas, unidades, **56**

electromagnéticas magnitudes, 14, 40
electrón, masa del, 36-37
electronvoltio (eV), 36-37
elemental, carga, 36-37
ergio, 40, 58
escala de temperatura termodinámica, 59
escotópico, 70, 87
escritura del valor de una magnitud, 45
establecimiento del SI, 57, 59-61
estereorradián (sr), 28, 31, 46, 62, 72, 77

F

factores de racionalización, 15
faradio (F), 28, **56**, 58, 62
fotobiológicas, magnitudes, 17-18, 87-88
fotométricas, unidades, **55**, 66, 87-88
fotópica, visión, 71, 87
fotoquímicas, magnitudes, 18, 87-88

G

gal (Gal), 40
gauss (G), 40
Gauss, 19
general, relatividad, 17, 80
Giorgi, 20
gon (grado centesimal), 35
grado (sexagesimal, º), 35
grado Celsius (°C), 24, 28-29, 43, 45, 57-58
gramo, 17, 19-20, 33, 58, 65
gray (Gy), 28, 30, **70**, 74
grupos de cifras, 45, 58, 82-83

H

Hall, efecto (incl. efecto Hall cuántico), 21, **75-76**, 78
Hartree, energía, hartree, 36, 37
hectárea (ha), 35
henrio (H), 28, **56**, 58, 62
hercio (Hz), 28, 58, 62
histórica, nota, 19-20
hora (h), 33, 35, 58

I

IEC 60027, norma, 14
intensidad luminosa, 14-15, **26**, 55, 59, 61, 66, 70
ionizante, radiación, 18, 30, 69-71, 73, 81
ISO 31, norma, 12, 14, 44
ISO/IEC 80000, norma, 14
ISO/TC 14, 72
ISQ, Sistema Internacional de Magnitudes, **14**,
ITS-90, Escala Internacional de Temperatura de 1990, 76
IU WHO, Unidades Internacionales de la Organización Mundial de la Salud 18
IUPAC, 25; Libro Verde, 44
IUPAP SUNAMCO, 25; Libro Rojo, 44

J

Josephson, constante (K_J, K_{J-90}), 75
Josephson, efecto, **75**
julio (J), 16, 28, 29, 43, **56**-57, 62

K

katal (kat), 28, **78**
kelvin (K), 14, 20, 23-**24**, 26, 65-66, 83
kibibyte (kilobyte), 32
kilogramo, 14, 17, 18-19, **22**, 26, 33, 54, 55, 59, 61, 64, 77-78

L

legislación sobre unidades, 18
litro (L o l), **35**, 42, 53-54, 58, 62, 63, 64, 71
logaritmos de cocientes de magnitudes, 38
longitud, 14-15, 19, **22**, 26, 54, 55, 59
lumen (lm), 28, 56, 61; nuevo lumen, 55
luminosa, intensidad, 14-15, **26**, 55, 59, 61 66, 70
lux (lx), 28, 58, 62

M

magnética, constante, permeabilidad del vacío, 14, 23, 29
magnitud básica, **13**, 14, 15, 26
magnitud derivada, **13**, 14, 15, 27-30
magnitud, 13
magnitudes de dimensión uno, 16, 27, 30, 46,
magnitudes, cálculo de, 43-44
magnitudes, símbolos de, 15, 42, 43-45
masa y peso, 55
masa, 14-15, 19, **22,** 26, 35, 54, 55, 61, 64, 78
maxwell (Mx), 40
Maxwell, 19

mesópico, 71, 87
metro (m), 14, 17, **22**, 43, 54, 55, 57, 59, 60, 61, 72-73, 79, 81-82
microsegundo de arco (μas), 33, 35
milisegundo de arco (mas), 33, 35
milímetro de mercurio, 39
milla náutica, 35, 39
minuto (min), 35
MKS, sistema, 20, 56
MKSA, sistema, 20
mol (mol), 14, 20, **24**-25, 69-70
molécula-gramo, 24
molecular, peso, 24-25
múltiplos (y submúltiplos) del kilogramo, 17, 32, 64
múltiplos, prefijos para, 17, 32-33, 61, 64, 67, 70, 76-77

N

naturales, unidades, 36-37
náutica, milla, 35, 39
neper (Np), 38-39, 46
newton (N), 23, 28, 56, 58, 62

O

obligatorios, símbolos de unidades, 15, 26, 41-42
œrsted (Oe), 40
ohmio (Ω), 20, 21, 23, 28, 42, **56**, 58, 62, 74-76, 79
OIML, 18
OMS, 18

P

pascal (Pa), 28, 43, 68
phot (ph), 40
pie, 41
poise (P), 40, 58
porcentaje, 46
ppb, 47
ppm, 47
ppt, 47
prácticas, unidades, 20, 57, 59, 60, 61
prefijos, 16, 28, **32**, 35, 38, 40, 42, 61, 64, 67, 70, 76-77
prototipo internacional del kilogramo, 20, **22**, 54-55
prototipo internacional del metro, 20, **22**, 54-55, 60
pulgada, 41
punto triple del agua, 23-**24**, 56-57, 59, 66, 83

R

radiación, terapia de, 18
radián (rad), 28, 31, 46, 62, 72, 77
realización de una unidad, 11, **21**, 85
recuento, magnitudes de, 16, 31
reducida, constante de Planck, 36, 37
relatividad general, 17, 80

S

segundo (s), 14, 19, 22-**23**, 26, 42, 58, 59, 65
SI, Sistema Internacional de Unidades 14, 57, 59, 60, 61
SI, prefijos, 16, 28, **32**, 35, 38, 40, 42, 61, 64, 67, 70, 76-77
siemens (S), 28, 68
sievert (Sv), 28, 30, 71, 73-74, 81
símbolos recomendados para las magnitudes, 14-15, 44
símbolos y nombres especiales de unidades, 16, 27-30
Sistema Internacional de Magnitudes, **14**,
sonido, unidades de, 18
stilb (sb), 40, 58
stokes (St), 40
submúltiplos, prefijos para, 17, 32-33, 61, 64, 67, 70, 76-77
suplementarias, unidades, 62, **67**, 72, 77

T

TAI, Tiempo Atómico Internacional, 67-68
temperatura termodinámica, 14-15, 23-**24**, 59, 61, 65-66, 83
tesla (T), 28, 62
Thomson, 20
tiempo (duración), 14-15, 22-**23**, 26, 59, 65
Tiempo Atómico Internacional (TAI), 67-68
Tiempo Universal Coordinado (UTC), 69
tonelada métrica, 35, 58
tonelada, 35, 58

U

incertidumbre, 45-46
unidad (SI), 21-31
unidad básica, **13**, 21, 26, 59, 60, 61
unidad derivada, **13**, 27-30, 62, 66

unidades del logaritmo de un cociente, 38-39, 46
unidades de magnitudes biológicas, 18
unidades fuera del SI, 34-41
unidades, nombres de, **42**, 58
unidades, símbolos de, 26, 42, 58
UTC, Tiempo Universal Coordinado, 69

V

valor de una magnitud, 42-43, 44
valor numérico de una magnitud, 42-43, 44
vatio (W), 28, **56**, 58, 62
velocidad de la luz en el vacío, 22, 37, 79
viscosidad cinemática, (stokes), 40
viscosidad dinámica, (poise), 40, 58
voltio (V), 28, **56**, 58, 62, 74, 75
von Klitzing, constante de (R_K, R_{K-90}), 21, 75, 76, 78

W

weber (Wb), 28, **56**, 62
Weber, 19

Y

yarda, 41

CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA

C/ del Alfar, 2
28760 Tres Cantos
Madrid
España

Teléfono: 91 8074 700
Fax: 91 8074 807

e-mail: cem@cem.es
Internet: http://www.cem.es

NIPO: 074-13-012-2

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO
CEM CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA