

ISSN 2346 - 9307



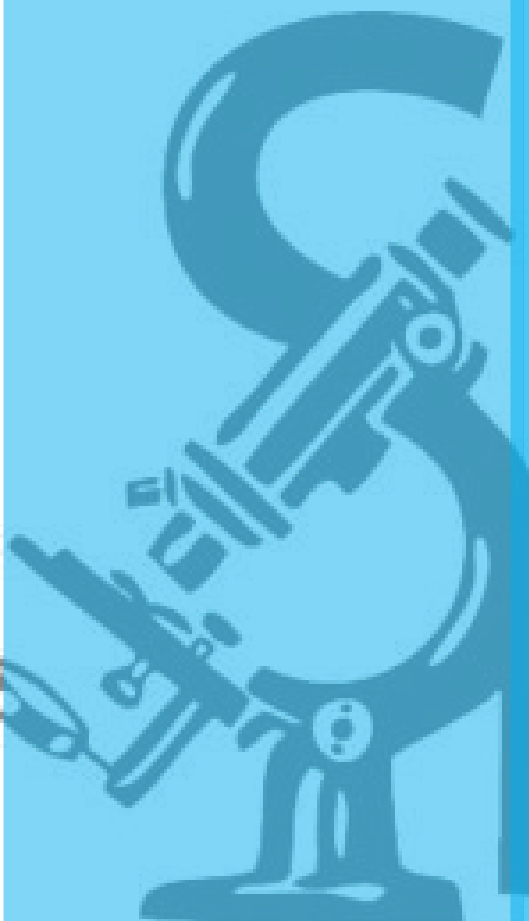
**kopein**<sup>®</sup>

---

La justicia en manos de la ciencia

**XIX**

Revista de Criminalística y Ciencias Forenses  
Publicación Trimestral  
Año VI · N° 19 ·  
Septiembre 2018



“Skopein”, “La Justicia en Manos de la Ciencia” y logotipo inscriptos en registro de marcas, acta N° 3.323.690 (INPI)

Cod. registro SafeCreative: 1606158153354

N° de Edición

Año VI, N° 19,  
Septiembre 2018

Edición Gratuita

ISSN  
2346-9307

Copyright© Revista Skopein® - e-ISSN 2346-9307  
Año VI, Número 19, Septiembre 2018

## AVISO LEGAL

Skopein® es una revista de difusión gratuita en su formato digital, sin fines de lucro, destinada al público hispanoparlante de todas partes del mundo, ofreciéndoles a estudiantes, graduados y profesionales, un espacio para publicar sus artículos científicos y divulgativos. Todo su contenido es de acceso público, y su suscripción es gratuita y sólo a través de su web oficial de forma online.

La revista no se hace responsable de las opiniones y comentarios que los lectores expresen en los distintos canales de comunicación utilizados, ni de las opiniones y comentarios de los colaboradores que publican dentro de la misma, y en ningún caso representando nuestra opinión, ya que la misma sólo se verá reflejada dentro de las notas de la Editorial. Asimismo, Skopein® no brinda aval a ningún organismo, institución o evento, excepto que así lo manifieste expresamente en su web oficial.

El equipo revisa el contenido de los artículos publicados para minimizar el plagio. No obstante, los recursos que manejamos son limitados, por lo que pueden existir fallas en el proceso de búsqueda. Si reconoce citas no señaladas de la manera debida comuníquese con nosotros desde la sección de contacto, o envíenos un e-mail a [info@skopein.org](mailto:info@skopein.org)

## Registro de propiedad Intelectual

Tanto el proyecto, como el sitio donde se hospeda, logo e imágenes y todos los artículos, notas y columnas de opinión que publica cada número de la revista, están protegidos por el Registro de Propiedad Intelectual de SafeCreative y CreativeCommons bajo las licencias Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported a nivel Internacional, y la licencia Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 2.5 en Argentina.

El usuario tiene permiso de copiar y distribuir el contenido de los mismos siempre y cuando realice el debido reconocimiento explícito de la autoría y no realice modificaciones en obras derivadas, ni lo utilice para hacer uso comercial.





Para publicar en Skopein, realizar  
consultas y sugerencias:

[info@skopein.org](mailto:info@skopein.org)



Se compone de los las raíces grèegas: *Makros* que significa grande, y *Skopein*: mirar observar o examinar.

# MACROSCÓPICO



“Que se ve a simple vista, sin ayuda del microscopio.”

## DIRECTORES

Diego A. Alvarez  
Carlos M. Diribarne

## EQUIPO DE REDACCIÓN

Mariana C. Ayas Ludueña  
Luciana D. Spano  
Ari Yacianci

## AUTORES EN ESTE NÚMERO

Sannie N. Ibáñez González  
Florencia Hisi  
Sofía Pomponio  
Brenda Fenoy  
Fiorella B. Scarpitta  
Martín D. Cabral  
Valeria N. Silva Arroba  
Jennifer L. Herrera Reyes  
Anahy K. Jácome Ordóñez

## DISEÑO DEL SITIO

Diego A. Alvarez

## DISEÑO Y EDICIÓN DE REVISTA

Carlos M. Diribarne

## DISEÑO DE LOGO

Diego A. Alvarez

## POSICIONAMIENTO Y DIFUSIÓN

Diego A. Alvarez

# Nota Editorial

Podríamos decir que este 2018 fue un año marcado por grandes “turbulencias”, que nos impidieron realizar con normalidad muchas de las actividades que gustosamente estamos comprometidos a realizar, siendo por supuesto *Skopein* una de las más importantes. Más allá de la obvia referencia a la situación de crisis financiera que experimenta la Argentina en los últimos tiempos, internamente dentro del equipo hemos sufrido bajas y cambios que también propiciaron nuestro ya evidente retraso en las publicaciones regulares de la revista.

Lo cierto es que mantener una publicación trimestral de manera gratuita por más de 5 años (estamos transitando el sexto año de publicaciones) no es nada fácil, y menos aún, cuando transcurren situaciones como las vivenciadas, que obliga a cada miembro a priorizar sus asuntos personales para poder sobrellevar de la mejor manera posible la coyuntura del país.

Pero desde un punto de vista más optimista, ninguna crisis es eterna, y todas ofrecen oportunidades para mejorar. Estamos llevando a cabo una serie de procesos que permitirán reestructurar un poco mejor la organización de la revista, incorporando nuevos miembros y estableciendo un nuevo sistema de revisión de artículos, para que *Skopein* pueda continuar brindando contenido científico relevante a nuestras ciencias forenses por unos cuantos años más.

Los invitamos a leer esta edición N° XIX, que representa a su vez al 6to año de publicaciones, al mes del criminalista en honor a Juan Vucetich, y a nuestro mes de fundación.

El Equipo Editorial



# Contenido

## Septiembre 2018



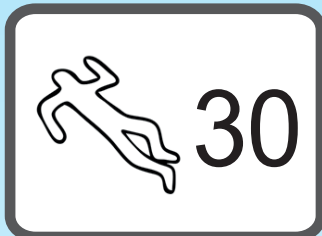
### Aplicabilidad de los Análisis sobre Impresiones Dactilares: Ventajas y Desventajas

Por Sannie Nathali Ibáñez González & Florencia Hisi



### Identificación de la Marca de una Pistola a partir del Hoyo de Percusión

Por Sofía Pomponio & Brenda Fenoy



### La Contaminación del Lugar del Hecho

Por Fiorella Belén Scarpitta



### Kilogramo: Redefiniciones en el Sistema Internacional de Unidades

Por Martín Daniel Cabral



### Análisis del régimen penitenciario (Caso Turi) y sus efectos en contra de las personas privadas de la libertad (ppl)

Por Valeria Nathaly Silva Arroba, Jennifer Lizbeth Herrera Reyes & Anahy Kruskaya Jácome Ordóñez



# Kilogramo: Redefiniciones en el Sistema Internacional de Unidades

Martín Daniel Cabral\*  
mcabral@iugna.edu.ar



## Abstract

El kilogramo es la última de las unidades base del Sistema Internacional que se encuentra definida por un prototipo patrón. Sin embargo, el uso de un artefacto físico ha sido cuestionado. Esto se debió a la variabilidad en masa obtenida en los períodos de verificación realizados y a que el sistema no se lo vinculó a una invariante de la naturaleza. Para el año 2019 cambiará la forma de definir al kilogramo. Los cambios se definirán en la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM). Dichas medidas afectarán a la ciencia, la industria y el comercio. Los científicos necesitan referencias metrológicas precisas para sus resultados de medición y requieren unidades de medida con un alto grado de invariancia y universalidad, por lo que la situación planteada en el ámbito internacional, debe ser analizada en el contexto científico argentino. Esto último no es independiente de las tareas que realizan los servicios de criminalística. El presente trabajo tiene por objeto analizar de qué manera estos cambios pueden afectar a los laboratorios criminalísticos, para lo cual se realizará una breve revisión de los conceptos implicados y se presentarán los últimos avances en dicho campo.

## INTRODUCCIÓN

El Sistema Internacional de Unidades (SI) es el sistema de unidades más utilizado para mediciones en la ciencia, la industria y el comercio. Se basa en siete unidades básicas: metro, kilogramo, segundo, ampere, kelvin, mol y candela; de las cuales derivan otras unidades. El SI fue oficializado en la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) de 1960, pero tiene sus orígenes en la Convención del Metro de 1875 (Stock, 2013). El kilogramo es la última de las unidades base del Sistema Internacional que se encuentra definida por un artefacto o prototipo, y se lo enuncia como: El kilogramo es la unidad de masa y la misma es igual a la masa del prototipo internacional del kilogramo (IPK). Esta definición influye en otras tres unidades base: el ampere, el mol y la candela (Davis, 2003; Eichenberger et al., 2003; Stock et al., 2015). Sin embargo, el uso de un artefacto físico para definir una de las unidades básicas, ha sido cuestionado. Esto se debe a que el sistema muestra una limitación importante al no vincularse con una invariante de la naturaleza como sucede con otras unidades. Como por ejemplo, en 1967 la

definición del segundo se basó en la frecuencia de una transición del átomo de cesio (Cs) y el metro se ha definido, desde 1983, por un valor numérico fijo de la velocidad de la luz en el vacío. Durante al menos el último cuarto de siglo, se ha discutido la posibilidad de redefinir el kilogramo en términos de una verdadera invariante natural, como la masa de un átomo o una constante física fundamental (Mills et al., 2006; Stock, 2013; Pinot et al., 2016).

Por otro lado, los resultados de la segunda verificación (1946-1953) junto con los de la tercera verificación (1988-1992) que se obtuvieron de las copias nacionales y el prototipo internacional, demostraron que los valores de masa de las 6 copias oficiales del prototipo internacional, los prototipos de trabajo del Bureau Internacional de Pesos y Medidas (BIPM) y los prototipos nacionales habían variado, en promedio, alrededor de 50  $\mu\text{g}$  en aproximadamente 100 años, en comparación con el prototipo internacional (ver Figura 1). Si bien todos estos artefactos, incluido el prototipo internacional, presentan trazabilidad y estandarización en su fabricación, es probable que la masa varíe en una cantidad desconocida adicional, por lo que sólo se puede estimar un límite superior

\*Especialista en Ingeniería Ambiental de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), 15 de septiembre de 2016. Secretaría de Posgrado, Investigación y Educación Permanente, Instituto Universitario de Gendarmería Nacional Argentina.

de dicha variación (Becker et al., 2007). Mirandés et al., (2016) explica que como consecuencia de la campaña de calibración extraordinaria en el año 2014 con el IPK, se comenzó una revisión de todos los datos de comparaciones de masa interna registrados en el período 1992-2014, con el fin de investigar el origen y la evolución de la variabilidad detectada desde el final del tercer período de verificación. El autor indica que el modelo matemático que mejor describió los datos sugiere que un fenómeno de desgaste asociado a uno de los comparadores de masa del BIPM, fue responsable de la pérdida de masa. Esto ocurrió principalmente durante los años 2003-2010. El autor concluye que como el IPK no fue accesible entre el tercer período de verificación y el año 2014, una parte de esta pérdida no se detectó, lo que explica el hecho de que solo se observó en 2014. Como consecuencia de los cambios de masa no detectados, los valores atribuidos en las calibraciones durante este período se sobreestimaron en hasta 35  $\mu\text{g}$ . El modelo matemático determinó la evolución de esta compensación de masa y ha permitido que el BIPM calcule valores de masa corregidos que se proporcionaron para todas las calibraciones desde el año 2003.

Para el año 2019 cambiará la forma de definir al kilogramo en el Sistema Internacional de medidas, como así también, se realizarán cambios en la forma de definir al kelvin, ampere y el mol. Dichas medidas afectarán a la ciencia, la industria y el comercio. Los cambios se definirán en la Conferencia CGPM que se realiza en París cada 4 años. El próximo encuentro está previsto para mediados de noviembre del año 2018, donde Argentina participará, dado que es miembro de la Conferencia y fue uno de los 17 países originarios que firmaron la Convención del Metro en 1875 (López, 2017). Teniendo en cuenta que los científicos necesitan referencias metrológicas precisas para sus resultados de medición y dado que requieren unidades de medida que posean un alto grado de invariancia y universalidad (Becker et al., 2007), es crucial que la situación planteada en el ámbito internacional sea analizada respecto de las actividades de medición en el contexto científico argentino; lo cual no es

independiente de las tareas que realiza los servicios de criminalística y estudios forenses en la República Argentina. Puntualmente, dicha situación se observa en las mediciones de masa, no solo en los campos de la criminalística, sino que también en las áreas relacionadas a la salud y el medio ambiente. Las balanzas que se utilizan, se calibran mediante el uso de masas de referencia estándares que son trazables al prototipo internacional del kilogramo (Gläser y Borys, 2009). El presente trabajo tiene por objeto analizar de qué manera estos cambios pueden afectar a las actividades de investigación en el ámbito de la criminalística y de las ciencias forenses, para lo cual se realizará una breve revisión de los conceptos implicados y se presentarán los últimos avances en dicho campo (Ver fig. N° 1).

## Antecedentes

La masa del prototipo internacional (IPK) fue oficialmente establecida como unidad de masa en el sistema métrico en 1889 por la 1ª Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM), y continúa desempeñando ese papel en el Sistema Internacional (Ver fig. N° 2). Su forma es un cilindro con diámetro y altura de aproximadamente 39 mm, fabricado de una aleación de 90% de platino y 10% de iridio. Junto con sus seis copias oficiales, el prototipo internacional se guarda en una bóveda en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) en París. La unidad de masa se transfiere por todo el mundo mediante

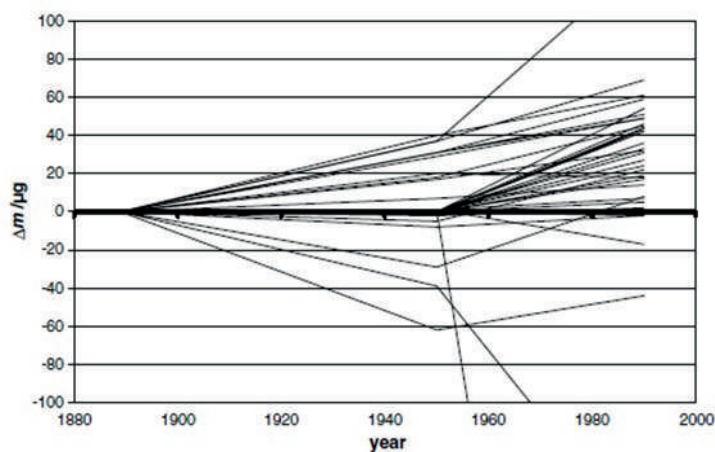


Fig. N° 1. Variación de los prototipos nacionales relativos al IPK (Extraído de Gläser y Borys, 2009).

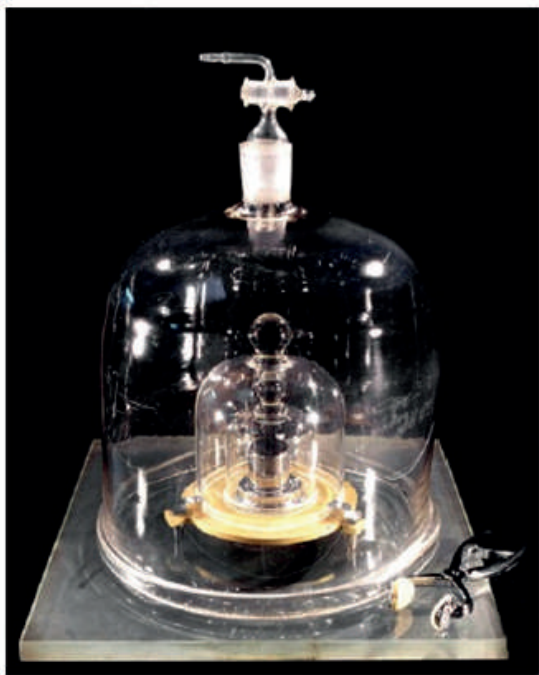


Fig. N° 2. Prototipo IPK mantenido bajo tres campanas (Extraído de Gläser y Borys, 2009).

comparaciones con IPK, realizadas indirectamente a través de un sistema jerárquico. El primer escalón de estas comparaciones es normalmente con un subconjunto de las copias oficiales de IPK, seguido de calibraciones de copias adicionales conocidas como los prototipos nacionales. De esta forma, cada Estado Nación puede asegurar que la masa de su prototipo y todas las medidas que se derivan de ella sean trazables a IPK (Davis, 2003; Mills et al., 2005; Pinot et al., 2016).

El IPK ha cumplido satisfactoriamente su rol desde su ratificación; sin embargo, los resultados de los períodos de verificación mencionados, indicaron que dicha masa absoluta no ha sido perfectamente estable con el paso del tiempo. Teniendo en cuenta que las mediciones se han tornado cada vez más precisas, dicha inestabilidad generó cuestionamientos a este sistema de referencia, lo que conllevó al planteo de la redefinición del kilogramo (Stock, 2013).

El Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) y sus Comités Consultivos continúan trabajando en el reemplazo del IPK por una nueva definición del kilogramo sobre la base de una constante fundamental de la Física. Esta es la razón por la cual durante 40 años se han realizado experimentos en

diversos Institutos Nacionales de Metrología (NMIs - National Metrology Institutes) con el objetivo de establecer una relación entre el kilogramo y los valores de las mencionadas constantes; como por ejemplo, la constante de Avogadro ( $N_A$ ) y la constante de Planck ( $h$ ). Actualmente, se encuentra acordado que la futura definición del kilogramo se basará en un valor numérico fijado de la constante de Planck por intermedio del Comité sobre Datos para la Ciencia y la Tecnología (CODATA); y probablemente será adoptado por el CGPM en 2018. Previamente, los Institutos Nacionales de Metrología tienen por objetivo proveer un valor medido de la constante de Planck con una incertidumbre estándar relativa de 2 partes en 10<sup>8</sup>, o en su caso, no más de 5 partes en 10<sup>8</sup> (Mills et al., 2005 y 2006; Pinot et al., 2016).

En la República Argentina el máximo órgano técnico en el campo de la metrología, es el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Su función legal es la de realizar y mantener los patrones de las unidades de medida, conforme al SI, así como su disseminación; constituyendo la cúspide de la pirámide de trazabilidad metrológica en el País. Los Certificados emitidos por el INTI y por los Institutos Designados por el INTI, garantizan la trazabilidad a los patrones nacionales. Con el fin de asegurar la validez, coherencia y equivalencia internacional de sus mediciones, el INTI, participa, junto con otros Institutos, en inter comparaciones organizadas por las diferentes Organizaciones Metrológicas Regionales (OMR) o por el propio CIPM, a través de sus Comités Consultivos. Asimismo, el INTI es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo de Patrones Nacionales de Medida y Certificados de Calibración y de Medición emitidos por los Institutos Nacionales de Metrología, redactado por el CIPM, por el cual los institutos participantes reconocen entre sí la validez de sus patrones de medida y sus certificados de calibración y de medición para las magnitudes, campos e incertidumbres especificados en el Acuerdo. En dicho apéndice se reflejan las Capacidades de Medición y Calibración (CMC) aceptadas a nivel internacional, soportadas por comparaciones



internacionales y realizadas bajo un sistema de gestión de la calidad basado en la norma ISO/IEC 17025 (INTI, 2017; disponible en: [www.inti.gov.ar](http://www.inti.gov.ar)). En la Argentina, el patrón nacional de masa es una pesa de acero inoxidable de un kilogramo, identificada como K30 (Ver fig N° 3) y posee tres testigos de la misma composición y valor nominal. La pesa K30 es calibrada cada 6 años en el BIPM, junto a alguno de los tres testigos; y la última calibración fue realizada en el año 2012. Los patrones se mantienen según la recomendación de la Organización Internacional de Metrología Legal, OIML: R 111-1/2004, en una sala limpia, cuyas condiciones de temperatura, humedad y presión están controladas y se registran cada dos minutos. La temperatura debe mantenerse en 20 °C +/- 0.3 °C durante una hora de registro, con una fluctuación máxima de 0.5 °C en 12 horas. La humedad debe permanecer entre 40-60 % +/- 5% en un intervalo de medición de 4 horas (INTI, 2017; disponible en: [www.inti.gov.ar](http://www.inti.gov.ar)).

Determinación experimental de la constante de Planck ( $h$ ) y su relación con el kilogramo

Como se mencionara anteriormente, las constantes fundamentales son invariantes en el tiempo y el espacio, por lo que resultan muy adecuadas para la definición del kilogramo. Stock (2013), explica que la fijación del valor numérico de una constante fundamental solo

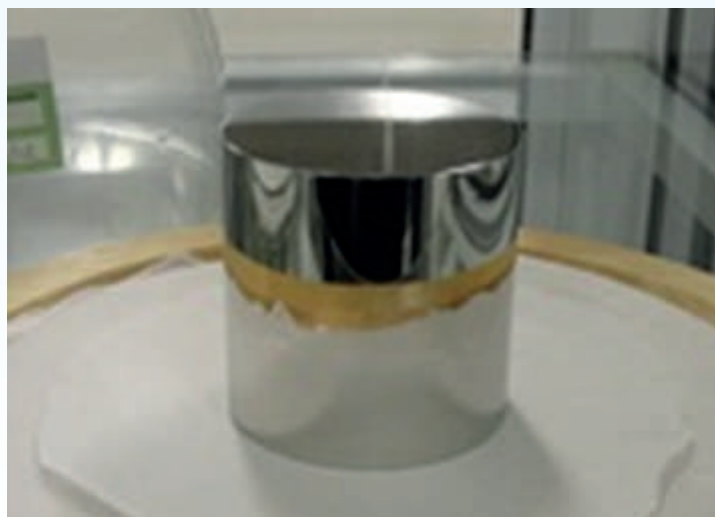


Fig. N° 3. Pesa Patrón Argentina denominada K30 (Extraído de: <http://www.inti.gov.ar>).

permite dicha definición si la dimensión de la constante contiene la unidad de masa. En tal sentido, podría redefinirse mediante:  $h = 6.626\ 06 \times 10^{-34} \text{ J s} = 6.626\ 06 \times 10^{-34} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$ . El símbolo X representa uno o más dígitos que se agregarán al valor numérico en el momento en que se adoptará la definición. El autor indica que para garantizar que la redefinición no conduzca a un cambio en el tamaño de la unidad, el valor asignado para la constante debe ser el valor correcto en el actual sistema SI, considerando la incertidumbre de su determinación. Además, se necesita un experimento para establecer una relación entre una masa macroscópica y la constante. Asimismo, el autor expresa que desde el punto de vista de las técnicas experimentales existentes, es posible establecer una relación directa entre una masa macroscópica y la constante de Planck mediante una balanza de watts (watt balance). Este enfoque posee la ventaja de que puede realizarse por un solo laboratorio, permitiendo el desarrollo de varios de estos instrumentos y la posibilidad de su comparación. El enfoque basado en la constante de Avogadro, requirió una gran colaboración internacional y una cantidad considerable de recursos para repetirlo, lo que propició el consenso internacional para la determinación de la constante de Planck mediante la balanza de watt (Mills et al., 2005 y 2006; Stock, 2013; Pinot et al., 2016).

Varios trabajos se han publicado respecto del principio de funcionamiento y de las especificaciones técnicas de las balanzas de watt, de los resultados obtenidos en la determinación experimental de  $h$ , de los progresos realizados y de las futuras consideraciones (Eichenberger et al., 2003 y 2009; Gläser y Borys, 2009; Steiner, 2013; Stock, 2013). No obstante, a los fines de este trabajo, se desarrollará un resumen que explique el funcionamiento de este instrumento y los últimos resultados obtenidos, para luego detallar las implicancias de la redefinición del kilogramo. Mientras que  $m$  es la masa de un objeto macroscópico, la constante de Planck  $h$  es la constante fundamental de la física cuántica que describe el comportamiento del mundo microscópico, siendo un factor de proporcionalidad en muchas ecuaciones. Una balanza de watt

establece una relación entre una masa macroscópica y la constante de Planck  $h$  (Eichenberger et al., 2003; Stock, 2013). (Ver fig. N° 4).

El principio denominado watt balance puede describirse por una balanza o rueda de brazos iguales, donde por un lado se suspende una masa estándar y por el otro se instala una bobina en un campo magnético radial; y como cualquier balanza, está diseñada para igualar una fuerza con otra. La balanza funciona en dos modos diferentes: el modo gravitacional y el modo de bobina móvil. En el modo gravitatorio, la fuerza gravitacional ( $g$ ) de la masa estándar ( $m$ ) se equilibra mediante la fuerza magnética que actúa entre la bobina que transporta una corriente  $I$  y el gradiente radial  $\partial B/\partial r$  del campo magnético externo  $B$ ; es decir: se mide la corriente necesaria para soportar un peso. En el modo móvil o paso de calibración, la bobina se mueve con una velocidad  $v$  conocida a través del campo magnético conocido y se mide la tensión inducida  $U$ . Este paso extra elimina el efecto de la geometría de las bobinas, aumentando notablemente la precisión. El instrumento recibe el nombre de watt, dado

que mide tanto la corriente como la tensión en la bobina, cuyo producto se expresa en watt. Ese producto es igual a la potencia mecánica de la masa de prueba en movimiento. La intensidad y la diferencia de potencial se miden en dos etapas o modos de operación separados (Gläser y Borys, 2009; NIST, 2017, disponible en: [www.nist.gov/physical-measurement-laboratory](http://www.nist.gov/physical-measurement-laboratory)). Existen varios diseños de esta balanza en diferentes laboratorios y en la Figura 4 se muestra el perteneciente al Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST - National Institute of Standards and Technology) de los Estados Unidos.

Experimentalmente, se dispone que los gradientes del campo magnético son los mismos tanto en el modo gravitacional como el móvil. De acuerdo a los trabajos realizados por Eichenberger et al., (2003) y (2009); y Gläser y Borys (2009) se obtienen las siguientes ecuaciones al combinar los dos modos (Ec. 1). Dichas expresiones permiten visualizar la relación con la constante de Planck  $h$ .

$$m g v = U I \text{ (Ec. 1)}$$

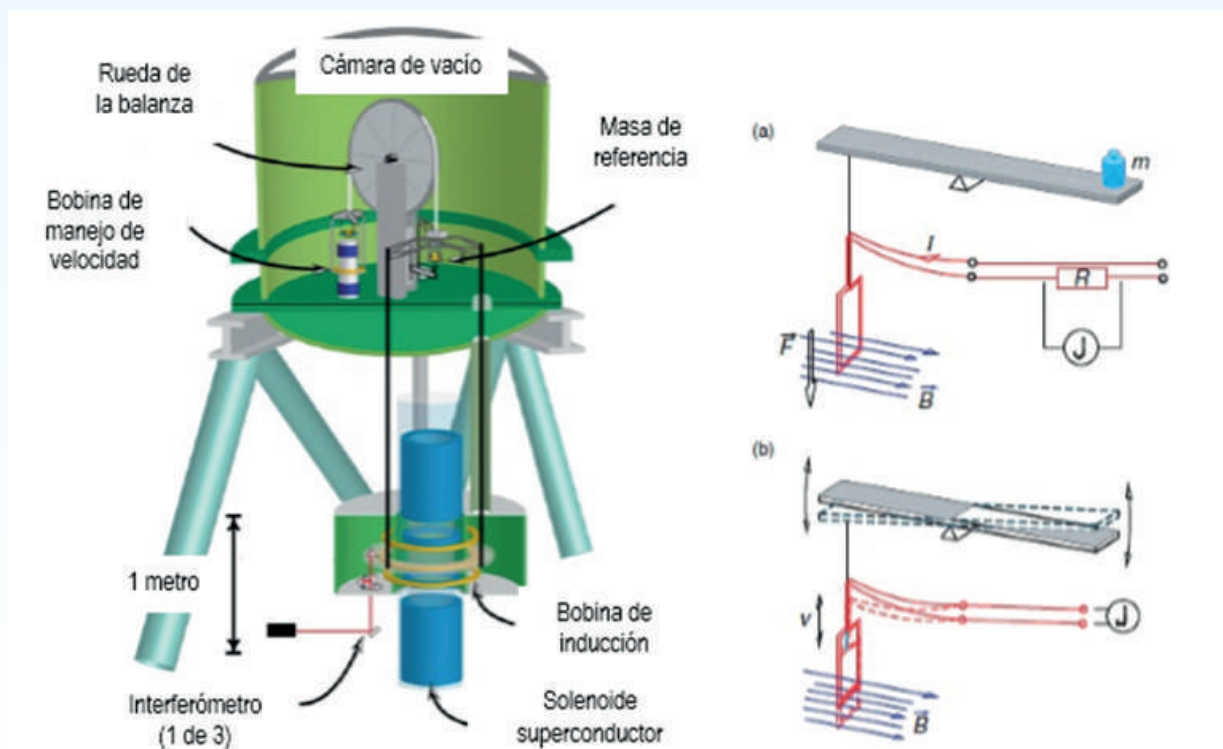


Fig. N° 4. Izquierda: esquema representativo de la balanza watt del NIST (Adaptado de: Steiner, 2013). Derecha: a) Modo estático, la fuerza electromagnética que actúa sobre la bobina portadora de corriente se equilibra con el peso de la masa de prueba, b) Modo móvil, la bobina se mueve en la dirección vertical a través del campo magnético y se mide el voltaje inducido (Extraído de: Eichenberger et al., 2003).

La corriente  $I$  y el voltaje  $U$  se miden usando dos constantes físicas cuánticas diferentes. Ambas constantes se definen en términos de  $h$  y la carga del electrón,  $e$ . Si bien son cantidades muy pequeñas, ambas se manifiestan en fenómenos macroscópicos mensurables (NIST, 2017). Los efectos cuánticos eléctricos relacionan el voltaje  $U$  con  $h/e$  por medio del efecto Josephson y la resistencia  $R$  a  $h/e^2$ , utilizando el efecto cuántico Hall (Eichenberger et al., 2003 y 2009; Gläser y Borys, 2009) de la siguiente manera:

$$\frac{v}{U} = 2 \frac{e}{n_1 h} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$R = \frac{h}{n_2 e^2} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde  $n_1$  y  $n_2$  son números cuánticos enteros y  $v$  es la frecuencia de microondas del dispositivo de Josephson. Reemplazando  $U$ , aplicando la ley de Ohm y estableciendo los números cuánticos igual a 1, se obtiene la siguiente expresión:

$$h = 4 \frac{m g v}{v_g v_m} \quad (\text{Ec. 4})$$

En la ecuación 4,  $v_g$  es la frecuencia de microondas para la medición de la diferencia de potencial en el modo gravitacional y  $v_m$  es la frecuencia pero en el modo dinámico. Debido a estas conexiones con la constante de Planck, una balanza de watt puede medir  $h$  cuando la masa es exactamente conocida (como en el caso de un estándar de 1 kg), o puede medir una masa desconocida si  $h$  es exactamente conocida. La redefinición inminente del kilogramo le asignará un valor fijo específico a  $h$ , permitiendo que las balanzas de watt midan la masa sin recurrir al IPK ni a ningún objeto físico (NIST, 2017).

## Resultados obtenidos y consideraciones

De acuerdo a Stock (2013), el último valor de la constante de Planck obtenida por CODATA en 2010, fue ampliamente satisfecho

por el resultado experimental de la balanza de watt del NIST y por el resultado para la constante de Avogadro; esto último se detalla más adelante. Las dos técnicas que permiten determinar la constante de Planck con la menor incertidumbre (varias partes en 108) son la balanza de watt ya descrita y la técnica de la esfera de silicio ( $^{28}\text{Si}$  isotópicamente enriquecido), ésta última no es objeto del presente trabajo. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 5. El autor detalla que debido a las pequeñas incertidumbres, la diferencia entre el resultado de la constante de Avogadro y el último resultado de la balanza de watt del NIST, es estadísticamente significativa. La diferencia corresponde a casi cuatro veces la desviación estándar combinada de los dos resultados. El resultado del Consejo Nacional de Investigación de Canadá (NRC - National Research Council) en 2012, confirma el resultado obtenido en el Laboratorio Nacional de Física del Reino Unido (NPL - National Physics Laboratory) con el mismo aparato, aunque no concuerda significativamente con el resultado del NIST. En la actualidad, el problema principal para la redefinición del kilogramo es la discrepancia significativa entre el resultado del enfoque de la esfera de silicio y los obtenidos por la balanza de watts del NIST por un lado, y la discrepancia entre los resultados NIST y NPL / NRC por otra parte.

El Comité Consultivo de Masas y Cantidades Relacionadas (CCM) sugiere condiciones de incertidumbre a satisfacer antes de redefinir el kilogramo: al menos tres experimentos independientes, arrojen valores de las constantes con incertidumbres estándares relativas no mayores de 5 partes en 108. Al menos uno de estos resultados debería tener una incertidumbre estándar relativa no mayor a 2 partes en 108. De acuerdo a los resultados obtenidos hasta el momento, la primera condición de incertidumbre fue alcanzada por la experiencia realizada con la balanza de watt del NIST en 2007 y la respectiva para la constante de Avogadro en 2011. Por otro lado, la incertidumbre determinada en los resultados de la balanza de watt obtenidos por el NRC fue de 6,5 partes en 108. Asimismo, se

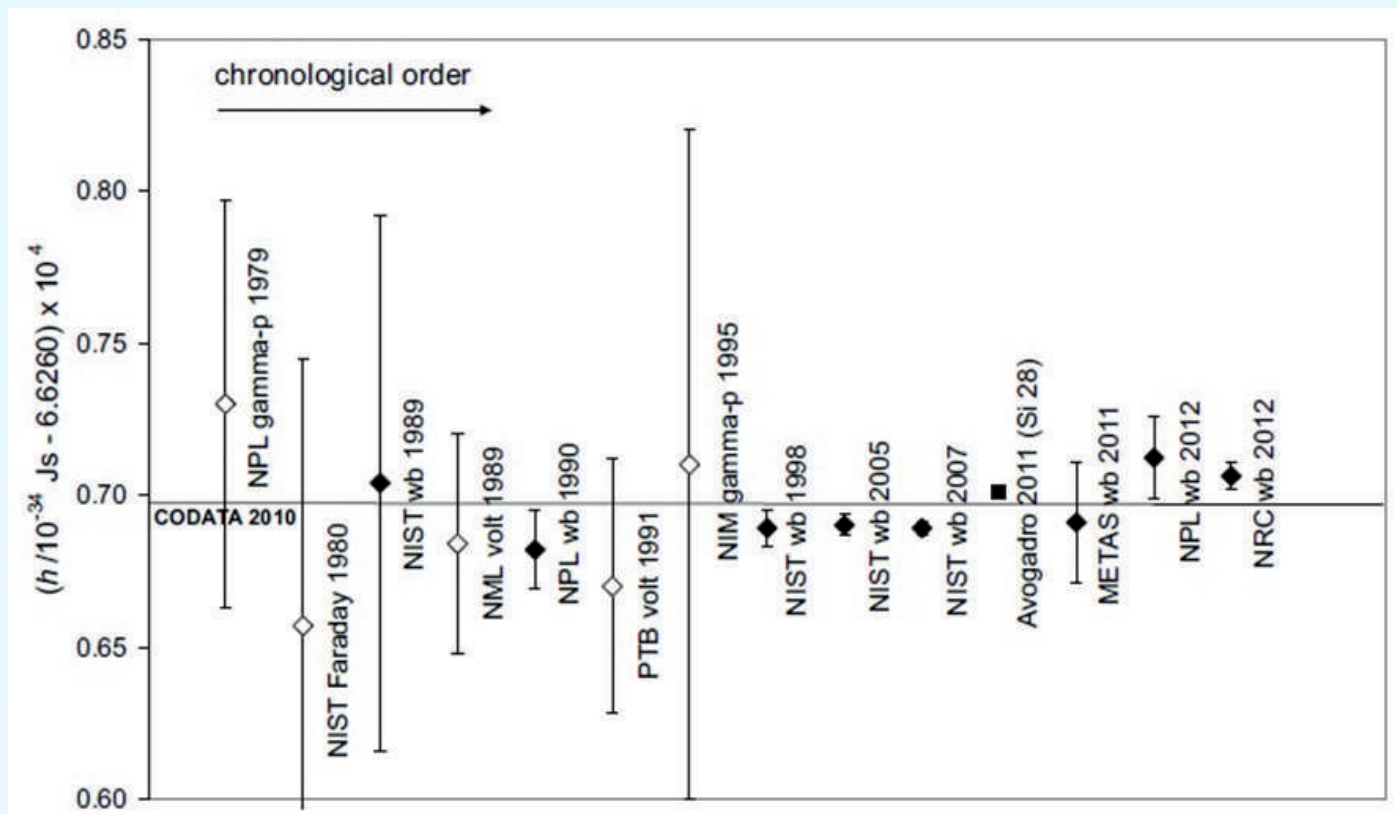


Fig. Nº 5. Valores obtenidos para la constante de Planck. Las incertidumbres se indican al nivel de una desviación estándar. Resultados para Balanza de watt se muestran con\*. Resultados para esfera de Si se muestran con ■. (Extraído de: Stock, 2013).

encuentra en duda la independencia de los datos desde 1998 debido a que los equipos de medición fueron modificados y mejorados con el tiempo de manera considerable. No obstante, se espera que el progreso previsto se continúe concretando, de forma tal de obtener incertidumbres por debajo de 5 partes en 10<sup>8</sup> (Mills et al., 2005 y 2006; Stock, 2013; Pinot et al., 2016; Richard et al., 2016).

En la presente sección, se han presentado de manera resumida los resultados obtenidos por varios laboratorios de diferentes países en las determinaciones experimentales de la constante de Planck. Al mismo tiempo, el CIPM y sus Comités Consultivos, el BIPM, la Organización Internacional de Metrología Legal y los Institutos Nacionales de Metrología, se han comprometido en forma conjunta a concretar la redefinición asumiendo diferentes objetivos. En virtud de alcanzarlos, es importante destacar la hoja de ruta desarrollada por el CCM y que fuera presentada ante el CIPM en 2013. La hoja de ruta muestra las tareas esenciales que deben realizarse, así como el calendario para establecer la redefinición del kilogramo para el otoño de 2018 (Milton et al., 2014; Richard et al., 2016). La hoja está

disponible en la página web del CCM; como se citó en Milton et al., (2014).

Richard et al., (2016); explica que además de la hoja de ruta, se elaboró un documento borrador de puesta en práctica (mise en pratique) de la redefinición del kilogramo que contrasta el documento análogo de la definición actual a partir del artefacto IPK. La mayor diferencia entre ambos documentos es que la definición del kilogramo ya no se basa en un único artefacto como el IPK, dejando en claro la manera en que la nueva definición de kilogramo basada en h cambia las nociones previas de métodos y estándares primarios. El autor indica que los métodos primarios dan como resultado estándares primarios de masa que luego se usan para diseminar la unidad de masa a los estándares secundarios; aspecto que es similar al paso de diseminación del IPK (Ver fig. Nº 6).

El autor referenciado infiere que el sistema admite varios estándares primarios derivados de dos métodos primarios completamente diferentes, por lo que cualquier Instituto Nacional de Metrología con un método primario podría, en principio, diseminar la unidad de masa en forma directa



Fig. Nº 6. Esquema jerárquico de la cadena de trazabilidad (Adaptado de: Richard et al., 2016).

o en inter colaboraciones con otros NMI con capacidades similares. No obstante, concluye que dicha posibilidad no resulta práctica para la mayoría de los NMI en cuanto a sus capacidades para derivar sus propios estándares primarios; por lo que el CIPM, a través del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo, atenderá estos procedimientos.

## CONCLUSIONES

El IPK ha cumplido satisfactoriamente su rol desde su ratificación en 1889; sin embargo, los resultados de los períodos de verificación explicados en este trabajo, indicaron que dicha masa absoluta no ha sido perfectamente estable con el paso del tiempo. Dicha inestabilidad generó cuestionamientos a este sistema de referencia, lo que conllevó al planteo de la redefinición del kilogramo (Davis, 2003; Eichenberger et al., 2003; Stock, 2013; Stock et al., 2015). Durante al menos el último cuarto de siglo, se ha discutido la posibilidad de redefinir el kilogramo en términos de una verdadera invariante natural, como la masa de un átomo o una constante física fundamental (Mills et al., 2006; Stock, 2013; Pinot et al.,

2016). El Comité Internacional de Pesas y Medidas y sus Comités Consultivos continúan trabajando en el reemplazo del IPK por una nueva definición del kilogramo sobre la base de una constante fundamental de la Física. Se han realizado experimentos en diversos Institutos Nacionales de Metrología con el objetivo de establecer una relación entre el kilogramo y los valores de las mencionadas constantes; como por ejemplo, la constante de Avogadro ( $N_A$ ) y la constante de Planck ( $h$ ). Actualmente, se encuentra acordado que la futura definición del kilogramo se basará en un valor numérico fijo de la constante de Planck, por intermedio del Comité sobre Datos para la Ciencia y la Tecnología. Previamente, los Institutos Nacionales de Metrología deben proveer un valor medido de  $h$  con una incertidumbre estándar relativa de 2 partes en 10<sup>8</sup>, o en su caso, no más de 5 partes en 10<sup>8</sup> (Mills et al., 2005 y 2006; Pinot et al., 2016). Los experimentos realizados con balanzas de watt se encuentran en diferentes etapas de desarrollo en varios NMI. Varios trabajos se han publicado respecto de los resultados obtenidos en la determinación experimental de  $h$  mediante esta balanza, de los progresos realizados y de las futuras consideraciones

(Eichenberger et al., 2003 y 2009; Gläser y Borys, 2009; Steiner, 2013; Stock, 2013). De los resultados documentados, solo dos experimentos han logrado incertidumbres de medición por debajo de 1 parte en 107, en los laboratorios del NIST y del NRC, aunque sus resultados no concuerdan significativamente (Stock, 2013).

Los expertos en metrología de masas han recomendado que se cumplan varias condiciones antes de que se pueda implementar la redefinición del kilogramo. En tal sentido, varias de las consideraciones prácticas resumidas por el CIMP en cuanto a consistencia, incertidumbre, trazabilidad y validación, se han cumplido recientemente y otras no se han cumplido o se han alcanzado de manera parcial. Sin embargo, la forma del nuevo SI ya ha sido definida, de modo que en el futuro las siete unidades base del SI se basarán en valores numéricos fijos de constantes físicas. El momento en que las nuevas definiciones serán oficialmente adoptadas por la CGPM dependerá del progreso del trabajo futuro para determinar la constante de Planck y de su evaluación por los comités de expertos y consultivos. Se requiere la aprobación oficial de CGPM antes de la aceptación de dichas redefiniciones, donde la hoja de ruta desarrollada por el CCM, involucró un proceso que ordenó el cumplimiento de las mencionadas condiciones. Además, este proceso fue acompañado de intensos esfuerzos científicos que se planea coronar con la revisión del SI en la 26ª CGPM (Stock, 2013; Richard et al., 2016). El encuentro mencionado está previsto para mediados de noviembre del año 2018, donde Argentina participará, dado que es miembro de la Conferencia y fue uno de los 17 países originarios que firmaron la Convención del Metro en 1875; al mismo tiempo, se cree que las nuevas definiciones tratadas en la conferencia, entrarán en vigencia a partir del año 2019 (López, 2017).

Es de suma importancia que la situación planteada en el ámbito internacional sea analizada respecto de las actividades de

medición en el contexto científico argentino; lo cual no es independiente de las tareas que realizan los servicios de criminalística y estudios forenses. En tal sentido, se recomienda que las áreas de gestión de calidad, a través de las respectivas dedicadas a las verificaciones y calibraciones, realicen el acercamiento al máximo órgano metrológico nacional con el fin de evacuar las necesidades técnicas y de recursos para desarrollar una correcta incorporación a la cadena de trazabilidad y, por supuesto, elaborar los procedimientos operativos estándares que aseguren verificaciones realizadas con masas de referencia trazables al nuevo esquema. En la República Argentina el máximo órgano técnico en el campo de la metrología, es el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Por último, es recomendable que todas estas actividades y las que se propongan de manera adicional, se ajusten a lo estipulado por la Norma ISO/IEC 17025 "Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración" (ISO/IEC, 2005).

## BIBLIOGRAFÍA

Becker, P. De Bièvre, P. Fujii, K. Glaeser, M. Inglis, B. Luebbig, H. and Mana, G. (2007). Considerations on future redefinitions of the kilogram, the mole and of other units. *Metrologia*, 44, 1–14.

Davis, Richard. (2003). The SI unit of mass. *Metrologia*, 40, 299–305.

Eichenberger, A. Genevès, G. and Gournay, P. (2009). Determination of the Planck constant by means of a watt balance. *Eur. Phys. J. Special Topics*, 172, 363–383.

Eichenberger, A. Jeckelmann, B. and Richard, P. (2003). Tracing Planck's constant to the kilogram by electromechanical methods. *Metrologia*, 40, 356–365.

Gläser, M. and Borys, M. (2009). Precision mass measurements. *Rep. Prog. Phys.*, 72, 1-32.

Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI]. (Marzo 29, 2018). *Metrología. Capacidades argentinas de medición y calibración*. Argentina, Ministerio de Producción, Presidencia de la Nación. Recuperado de:

<http://www.inti.gov.ar/metrologia/#reconocimiento>.

Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI]. (Marzo 29, 2018). Patrones nacionales. El Kilogramo, Unidad de masa. Argentina, Ministerio de Producción, Presidencia de la Nación. Recuperado de [http://www.inti.gov.ar/patrones\\_nacionales/masa.htm](http://www.inti.gov.ar/patrones_nacionales/masa.htm).

ISO/IEC (Organización Internacional de Normalización y Comisión Electrotécnica Internacional). [2005]. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración. Norma ISO/IEC 17025:2005(es).

López, Vanesa. (04 de noviembre de 2017). En una cumbre mundial, cambiarán la forma de definir y medir el kilo. Clarín. Recuperado de: [https://www.clarin.com/sociedad/cumbre-mundial-cambiaran-forma-definir-medir-kilo\\_0\\_SySUDfcRW.html](https://www.clarin.com/sociedad/cumbre-mundial-cambiaran-forma-definir-medir-kilo_0_SySUDfcRW.html).

Mills, I. M. Mohr, P. J. Quinn, T. J. Taylor, B. N. and Williams, E. R. (2005). Redefinition of the kilogram: a decision whose time has come. *Metrologia*, 42, 71-80.

Mills, I. M. Mohr, P. J. Quinn, T. J. Taylor, B. N. and Williams, E. R. (2006). Redefinition of the kilogram, ampere, kelvin and mole: a proposed approach to implementing CIPM recommendation 1 (CI-2005). *Metrologia*, 43, 227–246.

Milton, M. J. T. Davis, R. and Fletcher, N. (2014). Towards a new SI: a review of progress made since 2011. *Metrologia*, 51, R21–R30

Mirandés, E. de. Barat, P. Stock, M. and Milton, M. J. T. (2016). Calibration campaign against the international prototype of the kilogram in anticipation of the redefinition of the kilogram, part II: evolution of the BIPM as-maintained mass unit from the 3rd periodic verification to 2014. *Metrologia*, 53, 1204–1214.

National Institute of Standards and Technology [NIST]. (Noviembre 27, 2017). Physical

Measurement Laboratory. Redefining the Kilogram, In Focus: Watt Balance. U.S., Department of Commerce. Recuperado de: <https://www.nist.gov/physical-measurement-laboratory/focus-watt-balance>.

Pinot, P. Beaudoux, F. Bentouati, D. Espel, P. Madec, T. Thomas, M. Silvestri, Z. Ziane, D. and Piquemal, F. (2016). Present and future mass standards for the LNE watt balance and the future dissemination of the mass unit in France. *Metrologia*, 53, 1139–1153.

Richard, P. Fang, H. and Davis, R. (2016). Foundation for the redefinition of the kilogram. *Metrologia*, 53, A6–A11.

Steiner, R. (2013). History and progress on accurate measurements of the Planck constant. *Rep. Prog. Phys.* 76, 46pp.

Stock, M. (2013). Watt balance experiments for the determination of the Planck constant and the redefinition of the kilogram. *Metrologia*, 50, R1–R16.

Stock, M. Barat, P. Davis, R. Picard, A. and Milton, M. J. T. (2015). Calibration campaign against the international prototype of the kilogram in anticipation of the redefinition of the kilogram part I: comparison of the international prototype with its official copies. *Metrologia*, 52, 310–316.

#### Cómo citar este artículo (APA):

CABRAL, M. D. (2018). Kilogramo: Redefiniciones en el Sistema Internacional de Unidades. *Revista Skopein*, XIX, 40-49. Disponible en [www.skopein.org](http://www.skopein.org)



[www.adncriminalistica.com](http://www.adncriminalistica.com)



## Servicios Periciales Integrales

Investigaciones forenses



Capacitaciones y Talleres



Productos e Insumos



[info@adncriminalistica.com](mailto:info@adncriminalistica.com)



# PRÓXIMOS TALLERES PRÁCTICOS INTENSIVOS

**¡CUPOS LIMITADOS!**

10 de Noviembre 2018

**IDENTIFICACIÓN DE VAINAS Y PROYECTILES**



1 de Diciembre 2018

**DETECCIÓN DE FALSIFICACIONES  
DOCUMENTALES**



2019

**DE REVELADO DE RASTROS  
PAPIOSCÓPICOS LATENTES**





**XIX**