

Redefinición de la unidad de masa y su disseminación

valor de referencia Sesgo valor medio
Veracidad

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2 \equiv \sum_{i=1}^N u_i^2$$

Nieves Medina Martín (CEM)

Situación actual

Un kilogramo es la masa del Prototipo Internacional del Kilogramo (CGPM-3-1901)

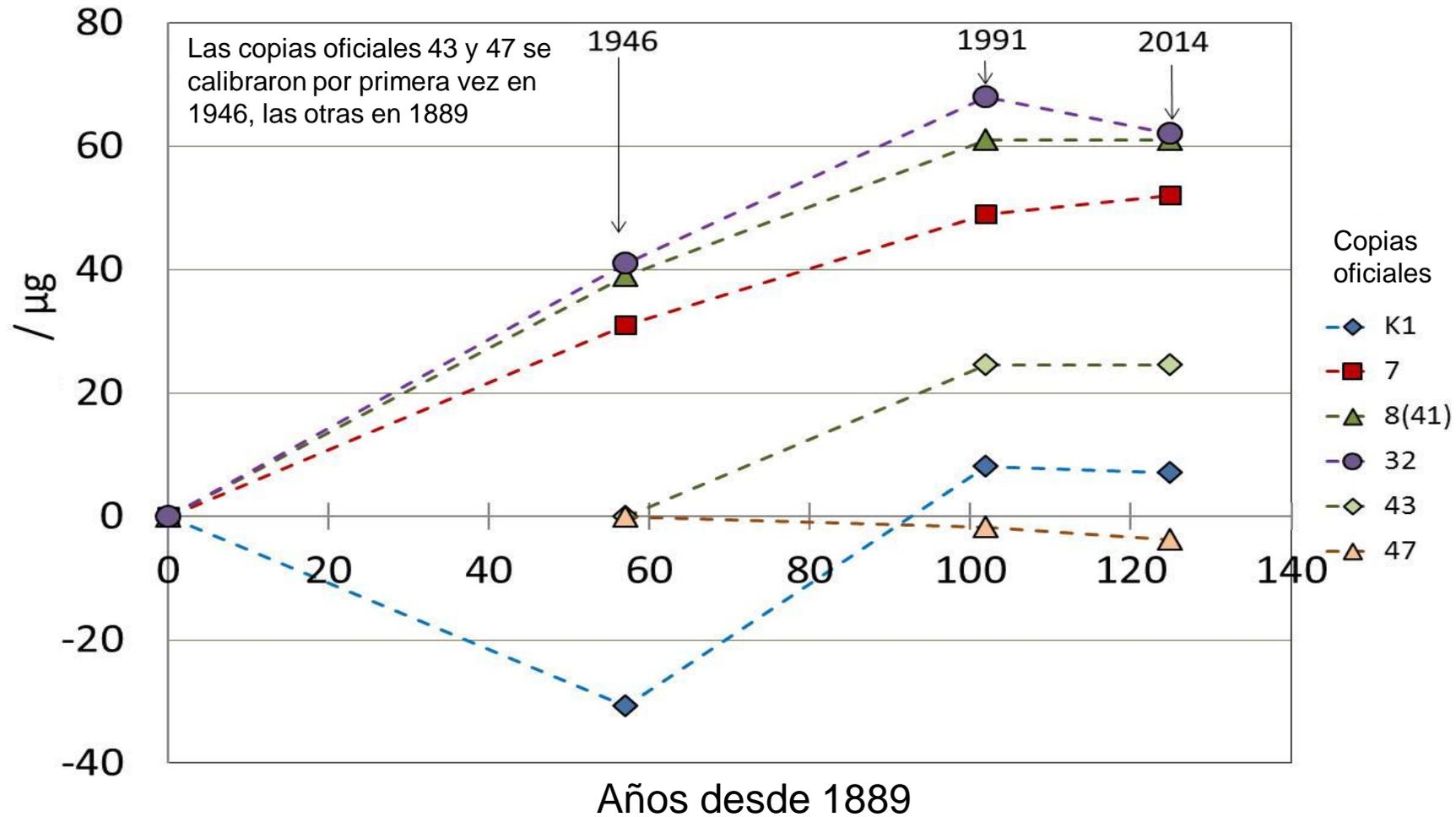


$$u=0$$

Depositado desde 1889 en el BIPM

Limitaciones de la definición actual

- Patrón existente en un único lugar: puede ser dañado o incluso destruido
- No puede ser usado de forma rutinaria por el riesgo de desgaste
- Absorbe moléculas de la atmósfera y debe ser cuidadosamente limpiado a través de un método preestablecido



Variación a lo largo del tiempo : $\approx 50 \mu\text{g}/\text{siglo}$ (5×10^{-8})

Las definiciones de las unidades básicas han de depender de características inmutables de la naturaleza



CONSTANTES FUNDAMENTALES \longrightarrow kg \longrightarrow h

Requisitos para la redefinición

Tres experimentos independientes consistentes para un nivel de confianza del 95%

- dos con $u_r < 5 \times 10^{-8}$
- uno con $u_r < 2 \times 10^{-8}$.

Experimentos

- Balanza de Kibble: h
- Método de Avogadro: N_A

$$N_A h = \frac{M(e) c \alpha^2}{2R_\infty}$$

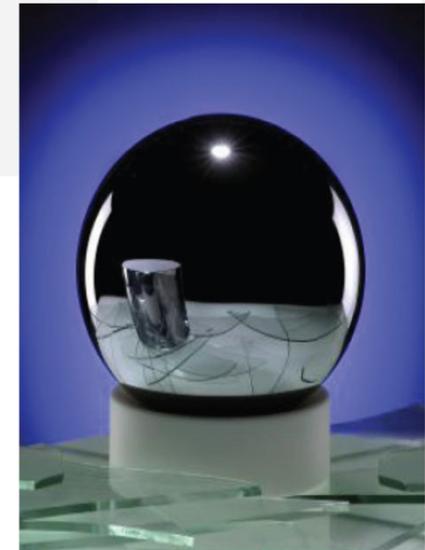
CODATA 2014 ($u_r = 4,5 \times 10^{-10}$) \Leftrightarrow son equivalentes

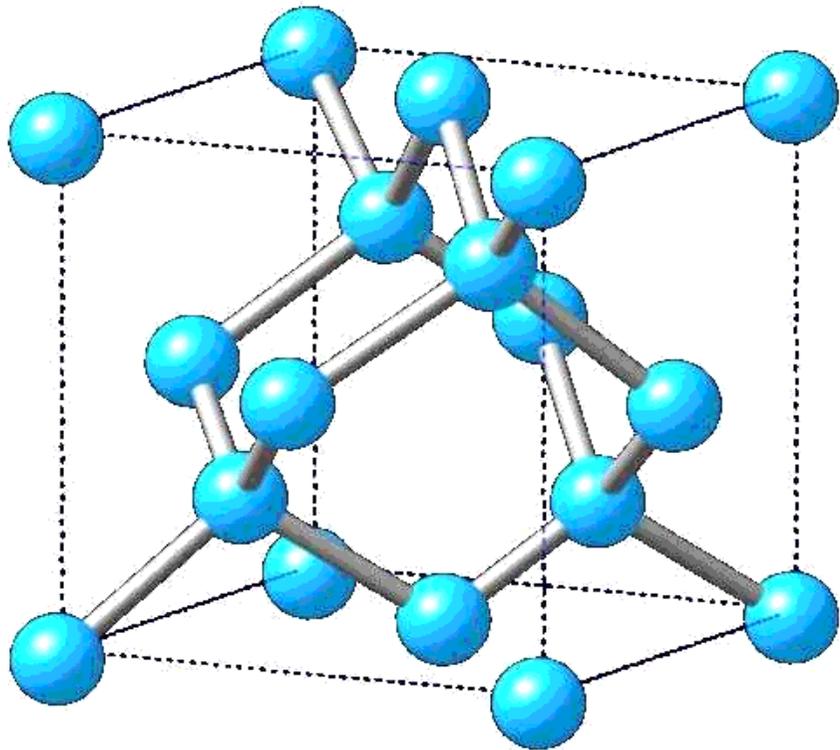
Método de Avogadro (XRCD)

Relacionar el kilogramo con la masa de un átomo

Contar una gran cantidad de átomos idénticos

Estructura cristalina perfecta





$$n = \frac{8V_S}{a^3}$$

$$N_A = \frac{8V_S}{a^3} \cdot \frac{M(^{28}\text{Si})}{m}$$



m
Comparación con IPK



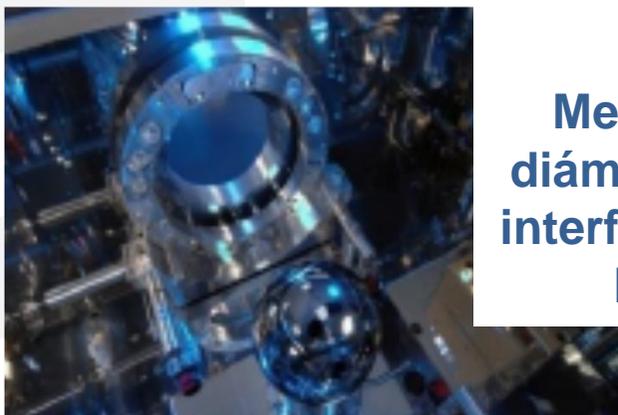
$M(^{28}\text{Si})$
Espectrómetro de masa por dilución isotópica

Estado superficial
Elipsometría, XPS, XRF,...



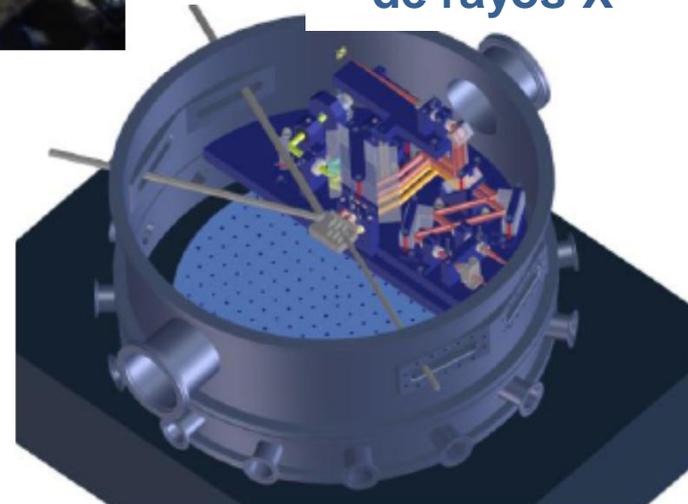
Vacantes de red e impurezas

LST, INAA, PALS, DAS, IAS, INAA, GDS



V_s
Medida de diámetros por interferometría láser

a Difracción de rayos X



International Avogadro Coordination



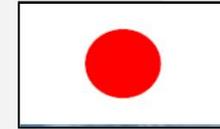
IRMM



INRIM



NML



NMIJ



PTB



NPL



BIPM



NIST

Resultados

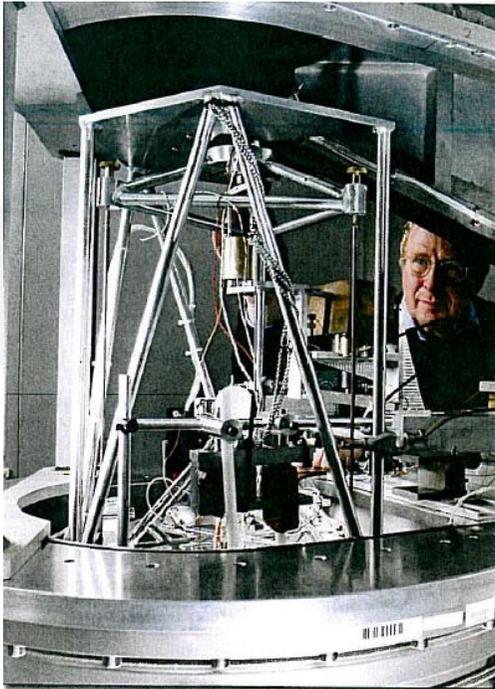
2011 $u_r = 3 \times 10^{-8}$

2015 $u_r = 2 \times 10^{-8}$

2017 $u_r = 1,2 \times 10^{-8}$

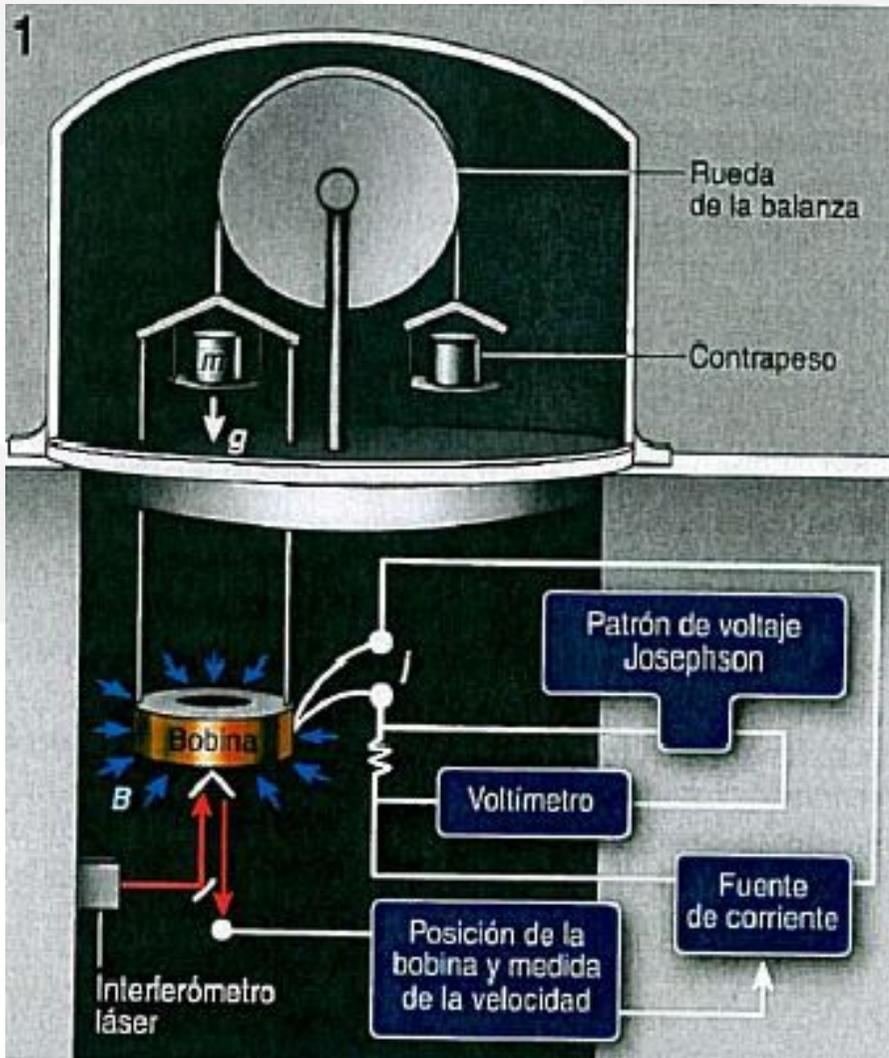


Balanza de Kibble (Watt)



Relacionar la masa con su fuerza gravitatoria

Equilibrar la fuerza gravitatoria con una fuerza electromagnética y medir ésta



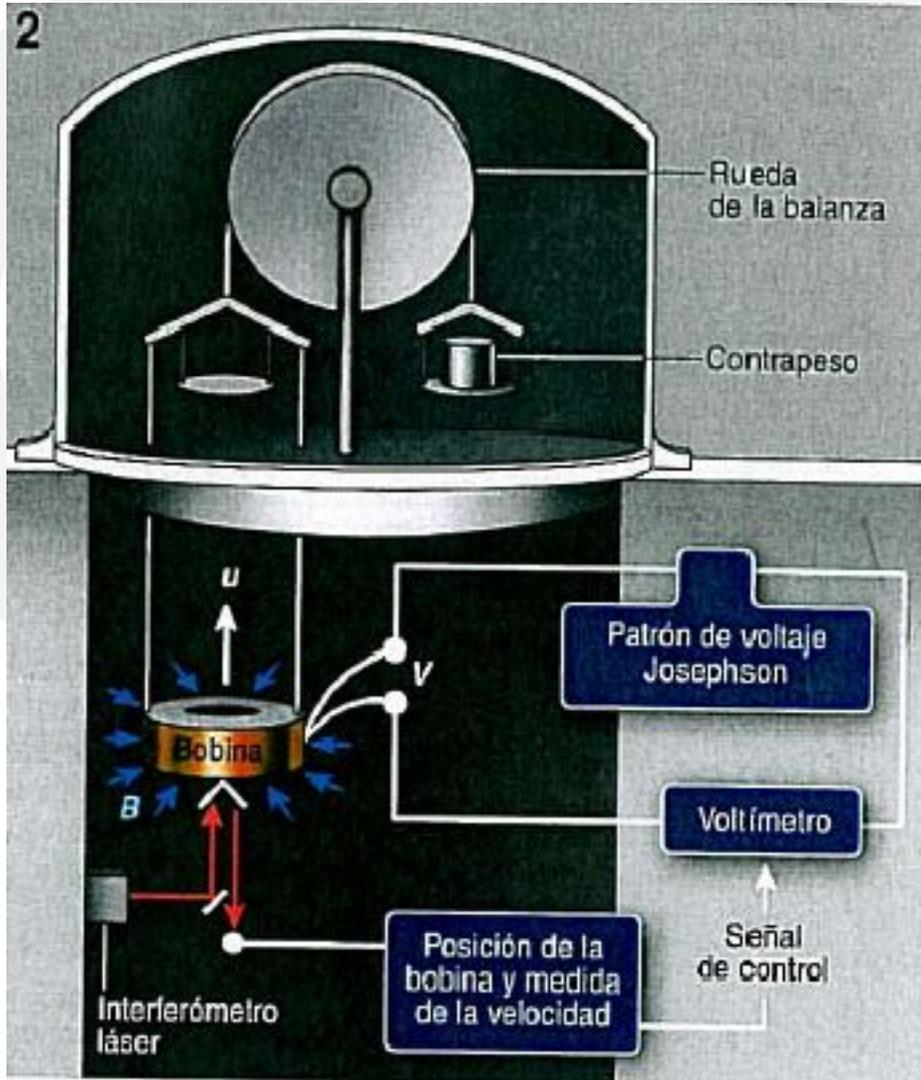
Fase de pesada

$$mg = I_1 B l$$

¡Difícil!



2



Fase dinámica

$$U_2 = vBI$$



$$mgv = I_1 U_2$$

Efecto Josephson $K_J = \frac{2e}{h}$

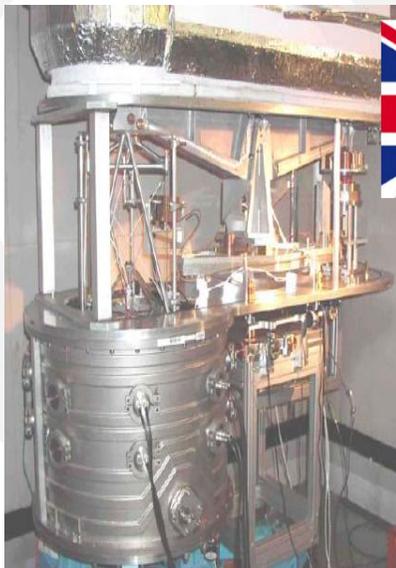
$$I_1 U_2$$

Efecto Hall Cuántico $R_K = \frac{h}{e^2}$

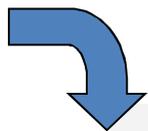
$$m = h \left(\frac{bf^2}{4} \right) \frac{1}{gv}$$



Balanzas de Kibble válidas



2017 $u_r = 15 \times 10^{-9}$



2017 $u_r = 9 \times 10^{-9}$

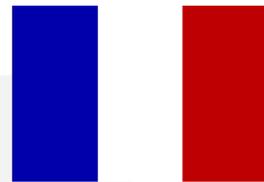




Otras balanzas de Kibble

en
progreso

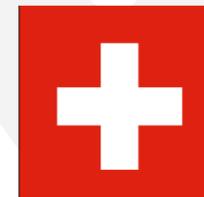
+ avanzadas



LNE



BIPM



METAS



MSL



NMI



KRISS

avanzadas

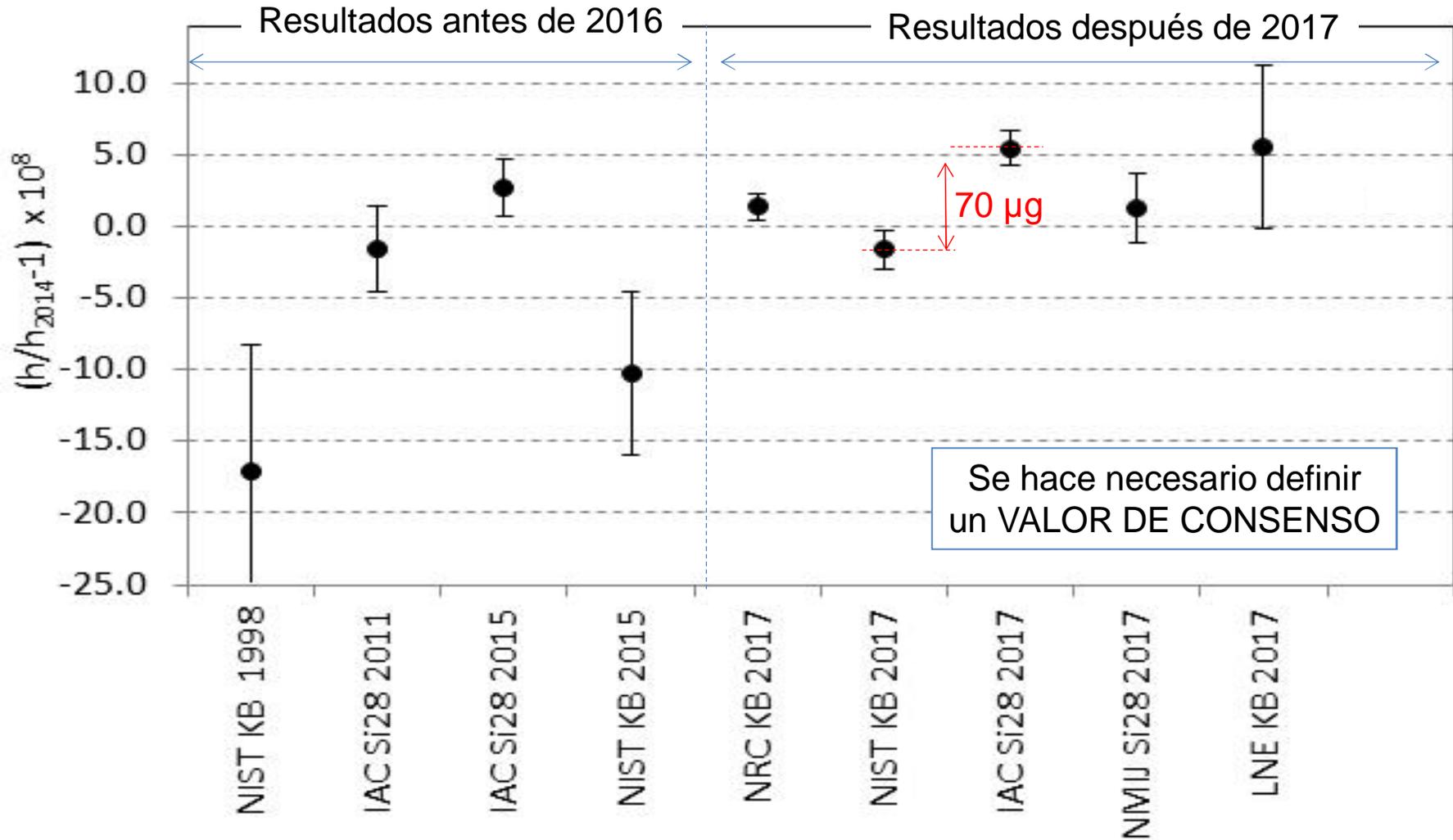


NPL



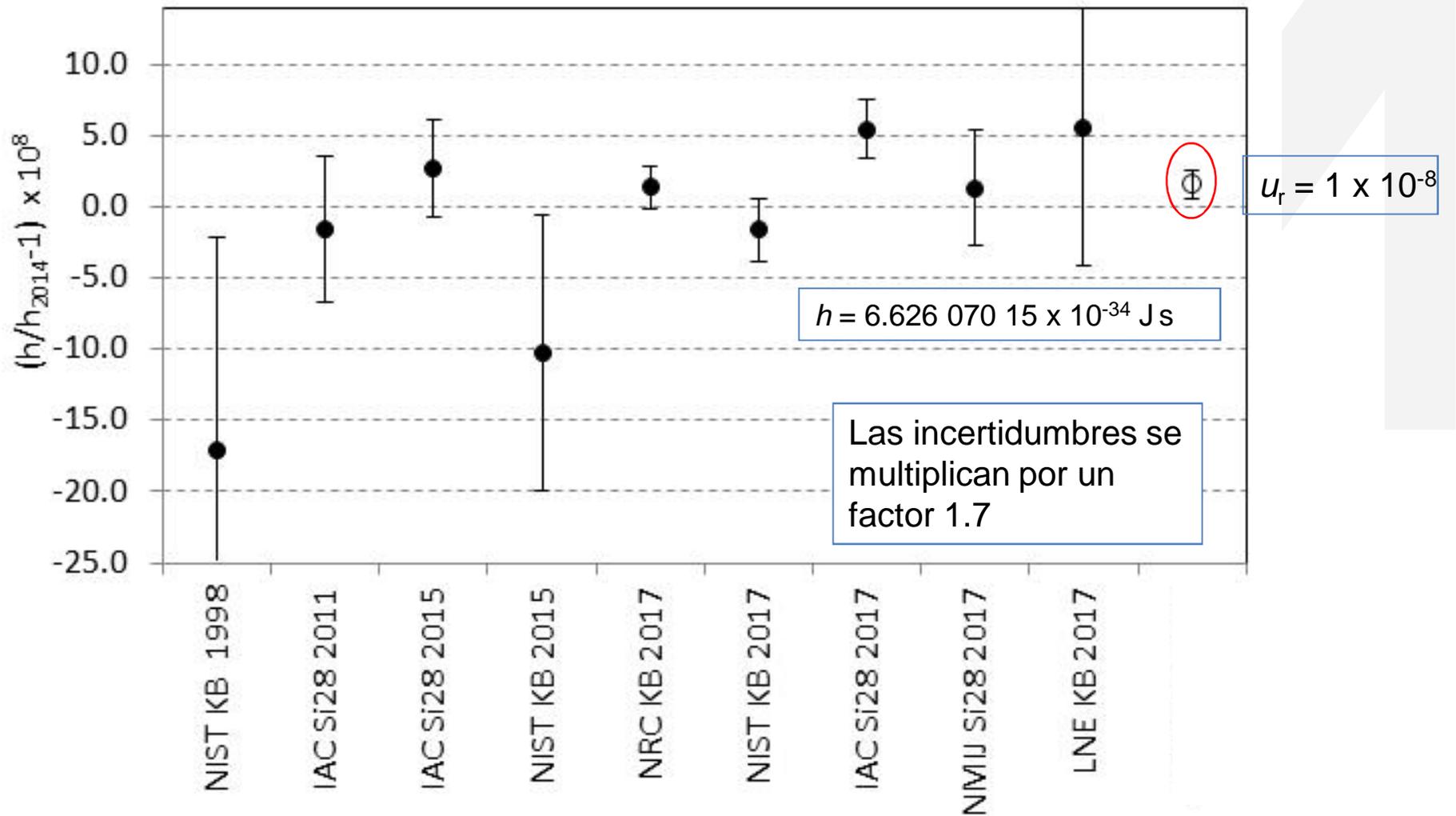
UME

Determinación de h (CODATA 2018)





Determinación de h (CODATA 2018)



Cambio de trazabilidad del kilogramo

Estado actual hasta Mayo 2019

Trazabilidad



$$\begin{cases} m_{\text{IPK}} \equiv 1 \text{ kg} \\ u_{m_{\text{IPK}}} \equiv 0 \end{cases}$$

Diseminación



BI PM a través del I PK

Función de las realizaciones primarias



Determinación de h



Cambio de trazabilidad del kilogramo

Mayo 2019- Determinación del Valor de Consenso (2020?)

Trazabilidad →
$$\left\{ \begin{array}{l} m_{\text{IPK}} \equiv 1 \text{ kg} \\ u_{m_{\text{IPK}}} \equiv \sqrt{(10 \mu\text{g})^2 + u_{\text{estab}}^2(t)} \end{array} \right.$$

Diseminación → BIPM a través del IPK

Función de las realizaciones primarias → Comparación Clave continua para el *Valor de Consenso CCM*

Impacto → Revisión de las CMCs (si $u(k=1) < 25 \mu\text{g}$)



Cambio de trazabilidad del kilogramo

Diseminación del Valor de Consenso CCM (2020? a?)

Trazabilidad →

Valor de Consenso CCM: acordado a partir del análisis estadístico de los experimentos disponibles

$$u \approx \sqrt{u_{CV}^2 + u_{stab}^2(t)}$$

Función de las realizaciones primarias →

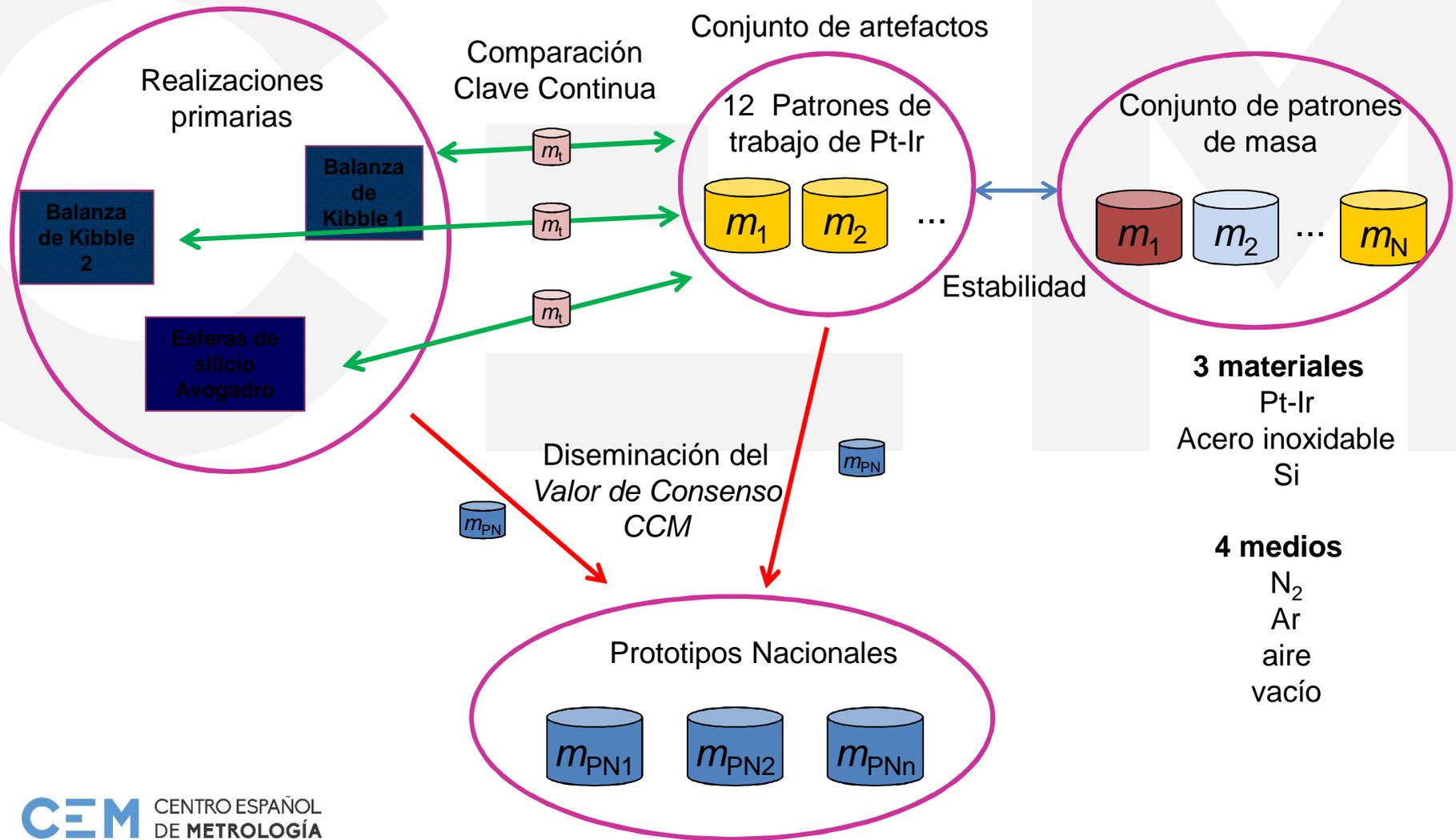
Ajuste del *Valor de Consenso CCM* mediante Comparación Clave continua

Mantenimiento →

BIPM a través del Conjunto de Artefactos



Diseminación y mantenimiento del *Valor de Consenso CCM*





Cambio de trazabilidad del kilogramo

Diseminación de las realizaciones individuales

Condiciones



No hay discrepancias
Realizaciones primarias estables

Trazabilidad



Realizaciones primarias comparadas
mediante Comparaciones Clave

Mantenimiento



BIPM a través del Conjunto de Artefactos

Diseminación



Realizaciones primarias
Conjunto de Artefactos del BIPM