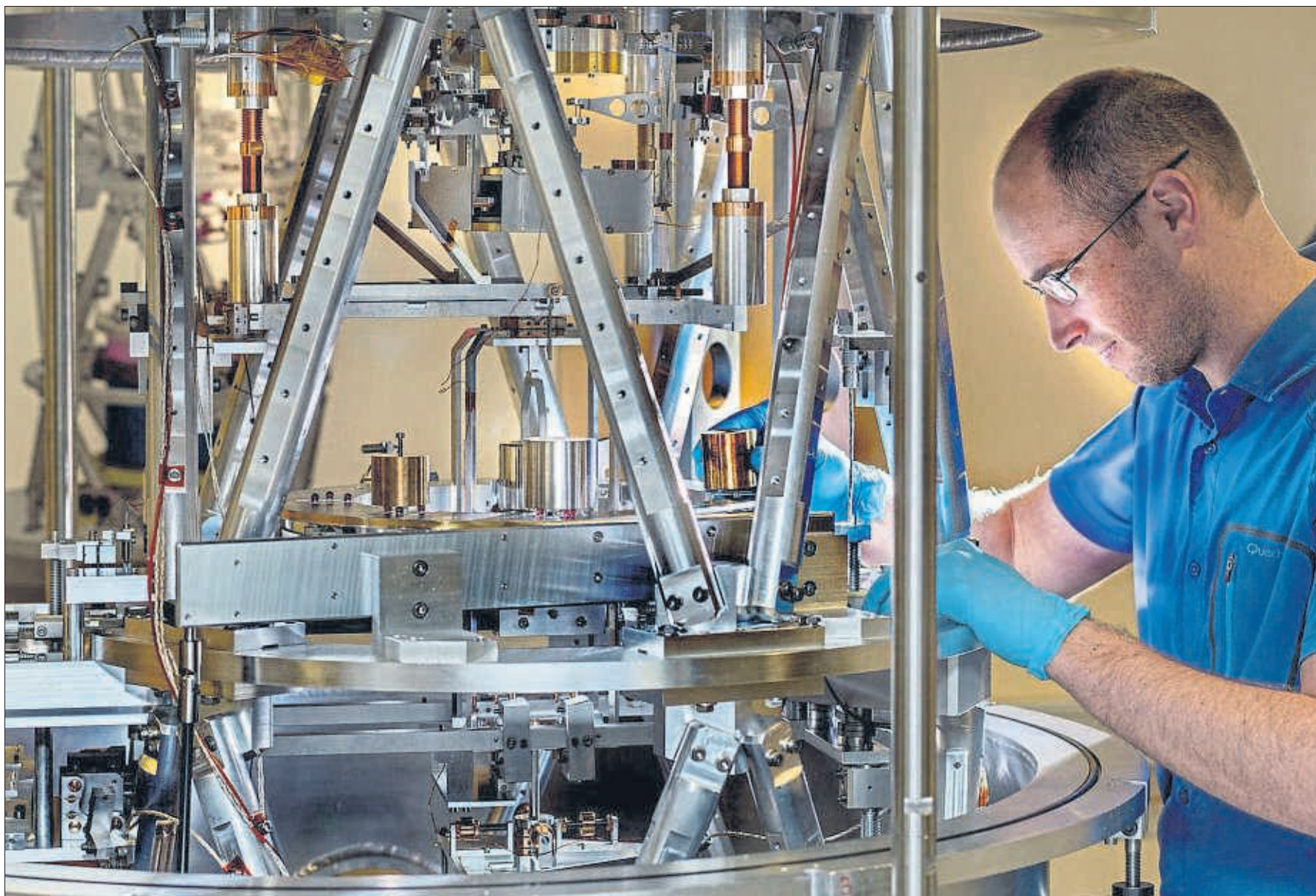


# Tendències

El nou sistema internacional de mesures

## El quilo es torna més exacte

*Els científics canvien la definició de les unitats amb què mesurem*



BIPM

Un científic de l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures prepara la balança de Watt (o de Kibble) per fer uns mesuraments

**ALBERT MOLINS RENTER**  
Barcelona

**D**es de divendres, el quilo ha deixat de ser el quilo que havíem conegut sempre. Bé, no exactament. Per ser precisos, el que canviarà és la definició de quilo. Molta gent té incorporada en la seva rutina matutina pesar-se en una bàscula i comprovar el seu pes, però potser no massa gent s'ha preguntat què és un quilo en realitat.

El quilo va rebre la seva primera definició durant la Revolució Francesa: la massa d'un dm<sup>3</sup> d'aigua destil·lada a 3,98°C de temperatura i una atmosfera de pressió. Des del 1889 i fins divendres passat, el quilo es definia com: "Unitat de massa del sistema internacional, de símbol kg, que equival a la massa del prototip de platí iridiat (IPK) que es troba a l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures de París". Però a partir del proper 20 de maig, que serà quan entri en

vigor, es definirà mitjançant la constant de Planck i unitats elèctriques, donat que l'ampere ja es mesura respecte al quilo. Agafin-se. Aquesta és la nova definició:

"El quilogram, símbol kg, és la unitat de massa del sistema internacional. Es defineix assignant el valor numèric fix de 6,626 070 040×10<sup>-34</sup> a la constant de Planck (h) quan aquesta s'expressa en la unitat J.s [Jules per segon], que és

**CONSTANTS UNIVERSALS**  
**S'abandona l'únic artefacte físic que quedava per descriure una unitat**

igual a kg.m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>, on el metre i el segon estan definits en termes de c [velocitat de la llum en el buit] i Δ<sub>s</sub> [valor numèric de la freqüència de la transició entre els nivells hiperfins de l'estat fonamental no pertorbat de l'àtom de cesi 133]".

Si no han entès res, no es preocupin.

Però el que sí que resulta més fàcil d'entendre és el perquè del canvi. La incertesa, o sigui, l'exactitud és la clau.

Un artefacte –un objecte físic– es pot deteriorar i pot perdre àtoms o absorbir molècules. De fet, el que es guarda amb pany i clau a París "no surt gairebé mai de la caixa forta, perquè com més el treguis més es pot fer malbé", diu José Àngel Robles, director científic del Centre Espanyol de Metrologia (CEM).

A més, per a mesuraments en escales convencionals, les definicions existents eren suficients, però "eren eines molt pobres per a la ciència moderna que necessita de molta més precisió", afegeix Robles. Això és exactament el que ha passat amb l'IPK. Comparades amb ell, algunes còpies oficials mostraven diferències de fins a 50 micrograms. "I el pitjor és que no sabem per què, ni si la modificació s'ha produït a la còpia o a l'IPK", diu el director científic del CEM.

També és fàcil adonar-se del

problema que això significa quan s'explica que aquest artefacte, les seves còpies i els seus testimonis són els que s'utilitzaven per calibrar instruments. Per a nosaltres, 50 micrograms és una minúcia, però en determinats càlculs pot ser important.

De fet, ja va passar una cosa semblant "quan el 1990 es va establir l'escala internacional de temperatures i es va descobrir que l'ai-

**LA RAÓ**  
**Amb les noves definicions els mesuraments seran més precisos**

gua no bullia a 100°C, sinó a 99,97°C", diu Eugeni Vilalta, vocal de la Secció de Metrologia del Institut d'Estudis Catalans. Tres dècimes que no tenen cap importància si es bull arròs, però en té molta en un altre tipus de càlculs.

Un altre exemple. Els astronautes van instal·lar uns miralls a la

Lluna que s'utilitzen per mesurar la distància amb la Terra. Quan es va canviar la definició del metre, i se la va vincular amb la velocitat de la llum, els resultats del mesurament d'aquella distància van ser més exactes", diu Vilalta.

I és que la metrologia també té la seva traçabilitat. "El fabricant de balances calibrava la seva balança mitjançant peses que –al seu torn– havien estat calibrades amb els testimonis d'un laboratori que havien estat calibrats amb altres que havien estat comparades amb la còpia que es guarda a la seu dels diferents centres nacionals de metrologia, i aquesta s'havia calibrat amb l'IPK", explica Emilio Prieto, cap de l'àrea de longitud del CEM. El canvi d'artefactes per constants universals invariables –com la velocitat de la llum–, que a més sempre seran iguals al llarg del temps, millora la precisió, ja que les noves magnituds recullen la incertesa zero de les constants.

De tota manera, la nova definició del quilo ni està exempta de problemes ni la seva materialitza-



**ANTIGUES UNITATS DE MESURA UTILITZADES A ESPANYA****Arrova**

Mesura equivalent a **11,50 kg**. L'arrova catalana és més **petita** i equival a **10,4 kg**

**Jornal**

Era la superfície treballada per un home en un dia. Variava segons el lloc, però vorejava els 4.800 m<sup>2</sup>

**Faneca**

Una unitat que tant servia per pesar **cereals** (42 kg) o pesar **litres** (55,5 l) com per delimitar una superfície **6.439,56 m<sup>2</sup>**

**Llegua**

Utilitzada per mesurar distàncies llargues. Era el **trajecte** que es podia recórrer en una hora, que es corresponia a **uns 5,5 km**

ció es deslliura del tot d'un artefacte físic.

D'una banda, "els dos experiments que s'han utilitzat per determinar el nou patró del quilò són molt cars", explica José Luis Borrego –cap del departament de laboratoris i certificació de producte de l'Entitat Nacional d'Accreditació (ENAC)– i "només alguns centres nacionals els poden realitzar, encara que el seu cost tampoc no es traslladarà als usuaris". En un s'utilitza la balança de Watt i en un altre una esfera perfecta de silici i la constant d'Avogadro, que mesura el nombre d'àtoms o molècules en una quantitat de matèria concreta, a partir de la qual cosa es pot saber la massa de l'esmentada esfera.

A més, "encara que les constants tinguin l'avantatge de ser precises i invariables, quan fem un experiment sempre estem introduint un cert grau d'incertesa", afegeix Borrego.

De fet, "el canvi de definició del quilò es volia haver fet abans, però

**IMPACTE EN EL DIA A DIA****Els instituts de mesurament i els llibres de text són els únics afectats pel canvi**

en els primers experiments el nivell d'incertesa era molt alt, i fins que no n'hi ha hagut dos que han donat el mateix resultat utilitzant mètodes diferents no s'ha canviat la definició", apunta Vilalta. I finalment, "en els experiments es continuaran comprovant els diferents pesos que tenen els laboratoris de calibratge", afegeix Borrego.

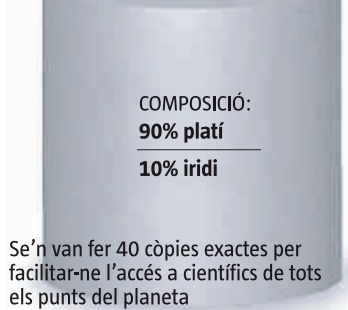
De les set unitats que formen el sistema internacional, tres –el segon (temps), la candela (intensitat lluminosa), i el metre (longitud)– ja havien tingut aquest canvi que ara, a més del quilò (massa), també emprenen l'ampere (corrent elèctric), el mol (quantitat de substància) i el Kelvin (temperatura termodinàmica). "D'aquesta manera, les definicions són més homogènies, les unitats estan més relacionades entre elles, i són més fàcils d'entendre, ja que totes s'expressen de la mateixa manera", explica Prieto.

De fet, "des dels inicis del siste-

**Què és un quilò?****Definició actual**

Des de l'any 1889 està definit per un cilindre de platí-iridi guardat a la ciutat de Sèvres, França

MIDA REAL



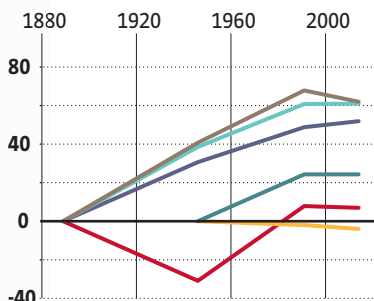
Se'n van fer 40 còpies exactes per facilitar-ne l'accés a científics de tots els punts del planeta

El quilogram és l'única unitat base del sistema internacional d'unitats (SI) definida actualment per un artefacte en lloc d'una constant física fonamental

**El problema de la seva exactitud**

Aquest quilò original ha perdut en un segle uns 50 micrograms

Canvis de massa de sis de les còpies, en micrograms



Això es deu que els objectes poden perdre àtoms o absorbir molècules, per això utilitzar un objecte per definir una unitat de mesura no resulta exacte

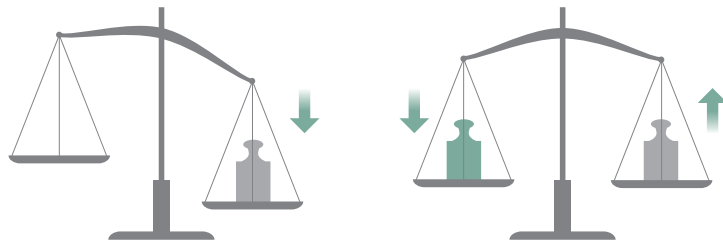
**Què és la balança de Watt?**

Aquest instrument permetrà una definició basada en una constant, no en un objecte, cosa que, a més de possibilitar la mesura exacta del quilò, sigui reproduïble en qualsevol lloc del planeta

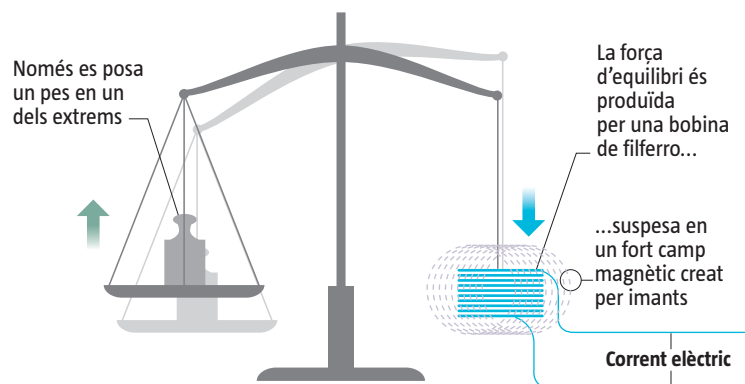
COM FUNCIONA

**A** Una **balança tradicional** funciona mitjançant l'ajust de la quantitat de massa en un costat del pivot...

...per equilibrar el pes una massa en l'altre costat mitjançant la força gravitatòria



**B** Una **balança de Watt** fa bàsicament el mateix. En aquest cas, tot i això, la força que equilibra el pes de la massa no és gravitatòria, sinó electromagnètica



La balança de Watt permet mesurar la massa d'un objecte de forma indirecta determinant dues quantitats: la força del camp magnètic i el corrent que corre a través de la bobina de filferro

FONT: 'Nature', Phys.org

LA VANGUARDIA



L'artefacte de platí i iridi que ha estat el patró del quilò fins ara

BIPM

ma mètric a finals del segle XVIII, i més concretament des del 1875 –quan s'estableixen els patrons internacionals– els científics sempre han buscat un patró invariable per definir cadascuna de les diferents magnituds", diu Robles.

Per exemple, els més vells recordaran que el metre es definia com la deu milionèsima part del quadrant del meridià terrestre. El 1799, es va mesurar l'arc que va des de Dunquerque (França) fins a Barcelona, i es va adoptar aquell metre patró que es va materialitzar sobre una barra de platí amb un 10% d'iridi. El Tractat del Metre es va firmar el 1875 i el 1889 es va instaurar la barra com a Prototip Internacional del metre.

El problema va ser que el 1799 es va calcular malament l'aplatament de la Terra als pols. Així que, el 1960, la Conferència General de Pesos i Mesures va redefinir el metre en funció de la longitud d'ona de la llum emesa per l'isòtop

86 del criptó, i des del 1983, el metre es defineix com la longitud del trajecte recorregut per la llum en el buit durant 1/299.792.458 de segon.

I ara la gran pregunta: què suposaran aquests canvis en el nostre dia a dia? Doncs tindrà "una afectació alta als instituts de mesurament, però nul·la per a la resta de persones, excepte que professors i estudiants es trobaran amb noves definicions als llibres de text", assegura Robles.

En aquest sentit, Eugeni Vilalta explica que des de la secció de Metrologia de l'Institut d'Estudis Catalans ja treballen amb els professors. "És més difícil d'explicar, però si s'aconsegueix s'explica molt millor i es té l'oportunitat de parlar de qüestions científiques més importants com la constant de Planck o l'estructura atòmica. Només es necessita que el professor acompanyi els alumnes", conclou Vilalta.●

"Invasiva, invisible i ignorada", així defineix la metrologia –la ciència que té per objecte l'estudi dels sistemes de pesos i mesures– José Ángel Robles, director científic del Centre Espanyol de Metrologia (CEM), i potser una de les ciències més antigues que hi ha, ja que els éssers humans hem mesurat, com sol dir-se, des de fa anys i panys.

Segons Carlos Granados, professor de la Universitat Politècnica de Madrid, "la metrologia és la ciència que té per objecte l'estudi de les propietats mesurables, les escales de mesura, els sistemes d'unitats, els mètodes i tècniques de mesurament, i també l'evolució de tot això, la valoració de la qualitat dels me-

suraments i la seva millora constant facilitant el progrés científic, el desenvolupament tecnològic, el benestar social i la qualitat de vida".

Potser no ens n'adonem, però vivim envaïts de "mesures i d'aparèlles que mesuren per tot arreu, en magnituds que moltes vegades porten associades un preu", diu Robles. Des del taxímetre al rebut de la llum o les multes per excés de velocitat, tot depèn d'un mesurament previ per establir l'import del trajecte, la factura o la sanció econòmica per haver corregut massa

amb el cotxe. Per tant, malgrat la seva invisibilitat i que les ignorem, que les mesures siguin precises i exactes –la metrologia científica– és una cosa que tots agraïm.

Per exemple, en el comerç les mesures exactes i protegides –la metrologia legal– eviten conflictes d'interessos entre les parts i eviten litigis. O en salut, en què les mesures són un instrument bàsic per al diagnòstic mèdic. També en el medi ambient els mesuraments incorrec-tes, per exemple, de contaminants a l'aire poden tenir costos socials. I

en la indústria la metrologia és fonamental en la qualitat de la fabricació. O en seguretat i defensa les mesures són presents en el control de duanes o en els dels aforaments.

Hi ha estudis que han calculat els efectes econòmics que tenen les mesures i l'impacte que implica el fet que siguin precises o no.

A l'Europa actual els mesuraments suposen un cost equivalent a més d'un 1% del PIB combinat, amb un retorn econòmic equivalent d'entre un 2% i un 7% del PIB.

Als anys 90 la incertesa en les anàlisis de colesterol era d'un 10%. Això volia dir que els metges en cas de dubte manaven repetir les anàlisis davant el temor de ser davant un

fals positiu. Doncs els esmentats estudis han calculat que el cost econòmic d'aquest mesurament amb aquest grau d'incertesa pot suposar un 10% del PIB d'un país.

A Espanya els comptadors de la llum poden tenir –legalment– una inexactitud de fins a un 2%, tot i que en la majoria dels comptadors actuals no arriba a un 0,01%. Doncs aquest 2%, per un consum típic de 200 kw/h suposaria un increment de 27,52 euros al rebut de la llum, i un total de 164 milions d'euros a tot el país.

I quin cost tindria si no tinguéssim mesures exactes? Doncs s'ha calculat que una desviació d'un 0,05% pot arribar a significar 581 milions d'euros del PIB.

**QUÈ ÉS LA METROLOGIA?**