

BUTLLETÍ DE LA SECCIÓ CATALANA DE METROLOGIA

Número 8 / Maig 2026

Drets d'autor i responsabilitats

La propietat intel·lectual dels articles és dels respectius autors.

Els autors en el moment de lliurar els articles a la Secció Catalana de Metrologia de la Societat Catalana de Tecnologia, filial de l'Institut d'Estudis Catalans, (en endavant, Secció Catalana de Metrologia) per a sol·licitar-ne la publicació accepten els termes següents:

- Els autors cedeixen a la Secció Catalana de Metrologia els drets de reproducció, comunicació pública i distribució dels articles presentats per a ser publicats al BUTLLETÍ DE LA SECCIÓ CATALANA DE METROLOGIA.
- Els autors responen davant la Secció Catalana de Metrologia de l'autoria i l'originalitat dels articles presentats.
- És responsabilitat dels autors l'obtenció dels permisos per a la reproducció de tot el material gràfic inclòs en els articles.
- La Secció Catalana de Metrologia està exempta de tota responsabilitat derivada de l'eventual vulneració de drets de propietat intel·lectual per part dels autors.
- Els continguts publicats a la revista estan subjectes —llevat que s'indiqui el contrari en el text o en el material gràfic— a una llicència Reconeixement - No comercial - Sense obra derivada 4.0 Internacional (by-nc-nd) de Creative Commons, el text complet de la qual es pot consultar a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.ca>. Així doncs, s'autoritza el públic en general a reproduir, distribuir i comunicar l'obra sempre que se'n reconegui l'autoria i l'entitat que la publica i no se'n faci un ús comercial ni cap obra derivada.
- EL BUTLLETÍ DE LA SECCIÓ CATALANA DE METROLOGIA NO es fa responsable de les idees i opinions exposades pels autors dels articles publicats.

Les opinions contingudes als articles publicats en aquest butlletí són exclusivament les opinions dels seus autors en el moment de la seva redacció, i no representen la Secció Catalana de Metrologia, ni cap altra entitat relacionada o no amb ella, ni cap altra entitat relacionada o no amb l'autor.

Protecció de dades personals

L'Institut d'Estudis Catalans (IEC) compleix el que estableix el Reglament general de protecció de dades de la Unió Europea (Reglament 2016/679, del 27 d'abril de 2016). De conformitat amb aquesta norma, s'informa que, amb l'acceptació de les normes de publicació, els autors autoritzen que les seves dades personals (nom i cognoms, dades de contacte i dades de filiació) puguin ser publicades en el corresponent número del BUTLLETÍ DE LA SECCIÓ CATALANA DE METROLOGIA.

Aquestes dades seran incorporades a un tractament que és responsabilitat de l'IEC amb la finalitat de gestionar aquesta publicació. Únicament s'utilitzaran les dades dels autors per a gestionar la publicació del BUTLLETÍ DE LA SECCIÓ CATALANA DE METROLOGIA i no seran cedides a tercers, ni es produiran transferències a tercers països o organitzacions internacionals. Un cop publicat el BUTLLETÍ DE LA SECCIÓ CATALANA DE METROLOGIA, aquestes dades es conservaran com a part del registre històric d'autors. Els autors poden exercir els drets d'accés, rectificació, supressió, oposició, limitació en el tractament i portabilitat, adreçant-se per escrit a l'Institut d'Estudis Catalans (carrer del Carme, 47, 08001 Barcelona), o bé enviant un correu electrònic a l'adreça dades.personals@iec.cat, en què s'especifiqui de quina publicació es tracta.

Butlletí de la Secció Catalana de Metrologia

Número 8

Equip editorial

Esther Ferrer Pérez

Eugeni Vilalta López

Albert Garcia-Benadí



Els continguts del BUTLLETÍ DE LA SECCIÓ CATALANA DE METROLOGIA estan subjectes —llevat que s'indiqui el contrari en el text o en el material gràfic— a una llicència Reconeixement - No comercial - Sense obra derivada 4.0 Internacional (by-nc-nd) de Creative Commons, el text complet de la qual es pot consultar a <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.ca>.

Així doncs, s'autoritza el públic en general a reproduir, distribuir i comunicar l'obra sempre que se'n reconegui l'autoria i l'entitat que la publica i no se'n faci un ús comercial ni cap obra derivada.

És una publicació periòdica.

Si hi voleu publicar un article, adreceu-vos a scmetro-sct@correu.iec.cat

Secció Catalana de Metrologia
de la Societat Catalana de Tecnologia
Carrer del Carme, 47
08001 Barcelona
<https://www.scmetro-sct.cat>
scmetro-sct@correu.iec.cat

© dels autors

Editat per la Secció Catalana de Metrologia, de la Societat Catalana de Tecnologia, filial de l'Institut d'Estudis Catalans
Carrer del Carme, 47. 08001 Barcelona

ISSN: 2696-0001

SUMARI



- 4 Actuacions dels agents implicats en l'aplicació del control metrològic de l'Estat vers els instruments de mesura**
Antoni Alcaide Gavilà
- 10 Digitalització i metrologia**
Joan Martínez Gómez
- 13 Magnituds i nombres: naturals, racionals i reals**
Eugeni Vilalta López
- 15 Celebració del Dia Mundial de la Metrologia 2025**
Josep Campolier i Albert Garcia-Benadí
- 18 Metrologia forense (part 1)**
Josep M. Arqués Soldevila
- 24 Magnituds adimensionals i de dimensió u**
Albert Garcia-Benadí
- 26 Traduccions dels exemples de l'EA-04/02 (exemple S9)**
José Sánchez González

ACTUACIONS DELS AGENTS IMPLICATS EN L'APLICACIÓ DEL CONTROL METROLÒGIC DE L'ESTAT VERS ELS INSTRUMENTS DE MESURA

Antoni Alcaide Gavilà

Enginyer tècnic en química industrial

1. Introducció

La metrologia legal, que s'ocupa d'aquelles mesures d'interès públic que influeixen sobre la transparència de les transaccions comercials, la salut i la seguretat de les persones, es troba regulada per una sèrie de disposicions reglamentàries que, amb el pas del temps, han anat evolucionant amb l'objectiu de mantenir-se d'acord amb la societat en la qual ens trobem. Així ha succeït amb la introducció de més famílies d'instruments de mesura i l'actualització d'annexos tècnics, entre d'altres, per la presència de noves normes harmonitzades.

En aquests moments, l'aplicació del control metrològic de l'Estat vers els instruments de mesura es troba regulada per les disposicions següents:

- Llei 32/2014, de 22 de desembre, de metrologia (BOE núm. 309, de 23/12/2014).
- Reial decret 244/2016, de 3 de juny, pel qual es desplega la Llei 32/2014, de 22 de desembre, de metrologia (BOE núm. 137, de 07/06/2016).
- Resolució de 2 de novembre de 2017, de la Secretaria General d'Indústria i de la Petita i Mitjana Empresa, per la qual es publica la Directriu 1/2017, de 31 d'octubre, per a la designació i control d'organismes notificats, de control i autoritzats de verificació metrològica (BOE núm. 286, de 24/11/2017).
- Ordre ICT/155/2020, de 7 de febrer, per la qual es regula el control metrològic de l'Estat de determinats instruments de mesura (BOE núm. 47, de 24/02/2020).
- Ordre ITU/1475/2024, de 17 de desembre, per la qual es modifica l'Ordre ICT/155/2020, de 7 de febrer, per la qual es regula el control metrològic de l'Estat de determinats instruments de mesura (BOE núm. 312, de 27/12/2024).
- Reial decret 249/2025, de 25 de març, pel qual es modifica el Reial decret 244/2016, de 3 de juny, pel qual es desenvolupa la Llei 32/2014, de 22 de desembre, de metrologia (BOE núm. 89, de 12/04/2025).

Aquestes disposicions regulen les fases del control metrològic de l'Estat dels instruments de mesura tant en la seva comercialització i posada en servei (mòduls d'avalua-

ció de la conformitat, i agents que hi intervenen) com quan aquests instruments es troben en servei (verificació després de reparació o modificació i verificació periòdica, i els agents que hi intervenen).

Al llarg del temps, s'han publicat diversos articles referents a aquestes dues fases, que han deixat ben clar com els agents econòmics han d'actuar per posar en servei els instruments que volen, així com ho han de fer els titulars dels instruments de mesura amb aquests instruments que es troben en servei. En canvi, les obligacions i responsabilitats de les entitats que intervenen en l'aplicació d'aquest control metrològic de l'Estat no han estat prou exposades, cosa que ha provocat confusions amb la seva interpretació per algunes de les parts.

Aquest article intenta presentar aquestes responsabilitats, però sense cap intenció de resumir, substituir ni interpretar el redactat que es troba en cadascuna de les disposicions que regulen el control metrològic de l'Estat, indicades anteriorment.

2. Agents que intervenen en la posada en servei d'instruments de mesura

La posada en servei dels instruments de mesura subjectes al control metrològic de l'Estat es basa en la comprovació de la conformitat dels instruments amb els requisits essencials i específics establerts reglamentàriament, aplicant mòduls d'avaluació de la conformitat.

L'avaluació de la conformitat estableix que els instruments de mesura sotmesos al control metrològic de l'Estat han de complir tota una sèrie de requisits essencials comuns i de requisits específics dels instruments de mesura, tot aplicant documents normatius (normes, documents de l'Organització Internacional de Metrologia Legal, etc.) per a la comprovació de la conformitat dels instruments de mesura amb aquests requisits essencials i específics.

En aquesta fase, els agents que hi intervenen són:

- Els agents econòmics:
 - Fabricants: tota persona física o jurídica que fabrica o que mana dissenyar o fabricar un instrument de mesura i el comercialitza amb el seu nom co-

mercial o marca o que el posa en servei per a fins propis.

- Representants autoritzats: tota persona física o jurídica establerta a la Unió Europea i a la qual un fabricant autoritza, per escrit, perquè actuï en nom seu als efectes de l'aplicació del control metrològic de l'Estat.
- Importadors: tota persona física o jurídica, establerta a la Unió Europea, que introdueix un instrument de mesura d'un tercer país al mercat de la Unió Europea.
- Distribuïdors: tota persona física o jurídica de la cadena de subministrament, diferent del fabricant o l'importador, que comercialitza un instrument o sistema de mesura.
- Organismes notificats: entitats públiques o privades que actuen en els procediments d'avaluació de la conformitat, designats com a tals per les administracions públiques competents en l'àmbit de la Unió Europea.
- Organismes de control metrològic: entitats públiques o privades que actuen en els procediments d'avaluació de la conformitat, designats com a tals per les administracions públiques competents en l'àmbit nacional.

2.1. Obligacions dels agents econòmics

Les empreses fabricants d'instruments de mesura han de tenir presents les circumstàncies següents:

- S'asseguraran que els instruments s'hagin dissenyat i s'hagin fabricat de conformitat amb els requisits essencials.
- Elaboraran la documentació tècnica i aplicaran o enviaran a aplicar el procediment d'avaluació de la conformitat pertinent.
- Conservaran la documentació tècnica i la declaració de conformitat durant deu anys després de la introducció de l'instrument al mercat.
- S'asseguraran que hi hagi procediments perquè la producció en sèrie mantingui la conformitat. Tindran presents els canvis en el disseny o les característiques de l'instrument i els canvis en les normes harmonitzades, documents normatius o altres especificacions tècniques d'acord amb les quals es declara la conformitat.
- S'asseguraran que els instruments de mesura que hagin introduït al mercat porten un nombre de tipus, lot o sèrie o qualsevol altre element que permeti la seva identificació.
- Indicaràn en l'instrument el seu nom, nom comercial registrat o marca registrada i la seva adreça postal de contacte o, quan no sigui possible, en un document que acompanyi l'instrument de mesura i el seu embalatge, si és que existeix.

- Garantiran que l'instrument de mesura que hagin introduït al mercat vagi acompanyat d'una còpia de la declaració de conformitat.
- Adoptaran immediatament les mesures correctores necessàries perquè sigui conforme, retirant-lo del mercat o recuperant-lo si l'instrument de mesura que han introduït al mercat no és conforme.
- Facilitaran tota la informació i la documentació necessàries a les administracions públiques competents.

Els fabricants poden designar, mitjançant mandat escrit, un representant autoritzat, que haurà d'efectuar les tasques especificades al mandat rebut del fabricant:

- Mantindran la declaració de conformitat i la documentació tècnica a disposició de les administracions públiques competents en la vigilància del mercat durant un període de deu anys després de la introducció de l'instrument al mercat.
- Facilitaran tota la informació i la documentació necessàries a les administracions públiques competents.
- Cooperaran amb les administracions públiques competents, a petició d'aquestes, en qualsevol acció destinada a eliminar els riscos que plantegin els instruments posats al mercat.

Les empreses importadores d'instruments de mesura:

- Només introduiran al mercat instruments de mesura conformes.
- S'asseguraran que el fabricant ha dut a terme l'avaluació deguda de la conformitat abans d'introduir l'instrument al mercat o posar-lo en servei. Si consideren que l'instrument no és conforme amb els requisits essencials, no l'introduiran al mercat ni el posaran en servei fins que sigui conforme.
- Indicaràn en l'instrument el seu nom, nom comercial registrat o marca registrada i la seva adreça postal de contacte o, quan no sigui possible, en un document que acompanyi l'instrument de mesura i el seu embalatge, si és que existeix.
- Garantiran que l'instrument vagi acompanyat d'instruccions i informació.
- Conservaran la documentació tècnica i la declaració de conformitat durant deu anys després de la introducció de l'instrument al mercat.
- S'asseguraran que els instruments de mesura que hagin introduït al mercat portin un número de tipus, lot o sèrie o qualsevol altre element que en permeti la identificació.
- Garantiran que l'instrument de mesura que hagin introduït al mercat vagi acompanyat d'una còpia de la declaració de conformitat.
- Adoptaran immediatament les mesures correctores necessàries perquè sigui conforme, això és, retiraran

l'instrument de mesura del mercat o el recuperaran si l'instrument de mesura que han introduït al mercat no és conforme.

- Facilitaran tota la informació i documentació necessàries a les administracions públiques competents.

Finalment, les empreses distribuïdores d'instruments de mesura:

- Només introduiran al mercat instruments de mesura conformes.
- S'asseguraran que el fabricant o l'importador hagin dut a terme l'avaluació deguda de la conformitat abans d'introduir l'instrument al mercat o posar-lo en servei. Si consideren que l'instrument no és conforme amb els requisits essencials, no l'introduiran al mercat ni el posaran en servei fins que sigui conforme.
- S'asseguraran que l'instrument vagi acompanyat de la declaració de conformitat, dels documents necessaris i de les instruccions i la informació segons estigui establert reglamentàriament.
- Cooperaran amb les administracions públiques competents, a petició d'aquestes, en qualsevol acció destinada a eliminar els riscos que plantegin els instruments.

A més, caldrà tenir present que podrà ser considerat com a fabricant i, per tant, podrà estar subjecte a les obligacions del fabricant, un importador o un distribuïdor que introdueixi un instrument de mesura al mercat amb el seu nom comercial o marca, o modifiqui un instrument de mesura que ja s'hagi introduït al mercat de manera que pugui quedar afectada la seva conformitat amb el que s'ha establert.

2.2. Obligacions dels organismes

Per a actuar com a organismes, tant els organismes notificats, que duren a terme les avaluacions de la conformitat dels instruments de mesura regulats per la Directiva 2014/31/UE i la Directiva 2014/32/UE, com els organismes de control metrològic, que realitzaran les avaluacions de la conformitat d'instruments de mesura regulats per l'Ordre ICT/155/2020 i l'Ordre ITU/1475/2024, han d'estar degudament designats per l'Administració pública competent mitjançant una resolució expressa, d'acord amb un procediment establert a les disposicions reglamentàries vigents i, posteriorment, inscrits al Registre de Control Metrològic.

La relació d'organismes notificats i organismes de control metrològic degudament designats es pot consultar a la web del [Centro Español de Metrología](#). A més, la relació dels organismes notificats europeus també es pot consultar a la web de les organitzacions notificades i designades de nou enfocament ([NANDO](#)) de la Unió Europea.

Els organismes han de tenir personalitat jurídica pròpia i complir una sèrie de requisits:

- Mantenir criteris d'independència i imparcialitat entre directius, personal, instruments i clients.
- Mantenir criteris de confidencialitat, objectivitat i imparcialitat d'activitats d'avaluació de la conformitat.
- Mantenir criteris d'integritat professional i competència tècnica exigida pel camp específic.
- Tenir la capacitat de fer totes les tasques d'avaluació per a les quals hagin estat designats: personal (degudament qualificat), mitjans tècnics, instal·lacions i procediments d'avaluació de la conformitat.
- Subscriure una pòlissa de responsabilitat civil adequada (només per a organismes que siguin entitats privades).
- Demostrar i satisfer de manera continuada els requisits estipulats per a la seva habilitació i informar a l'Administració pública competent que els va designar, l'endemà que es produeixi, de qualsevol modificació que pugui afectar el compliment dels requisits exigits, acompanyant, si escau, el corresponent informe o certificat de l'entitat d'acreditació (justificació de la seva competència tècnica).
- Per part dels organismes notificats, participar en activitats de normalització i activitats del grup de coordinació dels organismes notificats, establert d'acord amb la legislació d'harmonització aplicable de la Unió Europea.
- Per part dels organismes de control metrològic, participar en activitats pertinents de normalització o altres que pugui establir la Comissió de Metrologia Legal, d'acord amb la legislació específica aplicable d'àmbit nacional.
- Tenir caràcter de tercera part independent de l'organització o l'instrument de mesura que avaluin, i complir amb els criteris de compatibilitat establerts.

A més, aquests organismes es troben subjectes a tota una sèrie de sistemàtica reglamentària referents a:

- Un procediment establert de designació com a organisme.
- Un procediment establert de modificació de designació com a organisme.
- Una presumpció de conformitat.
- Unes obligacions operatives.
- Unes obligacions d'informació i col·laboració generals i amb les administracions públiques competents.
- Un procediment de suspensió i revocació de designacions.

Finalment, les obligacions reglamentàries establertes per als organismes han d'estar implementades, com a requisits, dins dels seus processos:

- Mètodes de gestió.
- Procediments de verificació.
- Gestió de les sol·licituds de verificació.
- Gestió dels registres de verificació.
- Informes: certificats de mòduls d'avaluació de la conformitat, certificats de verificació, informes desfavorables de verificació, etc.
- Gestió dels requeriments de l'Administració pública.
- Altres gestions.

3. Agents que intervenen en el control en servei dels instruments de mesura

El control en servei dels instruments de mesura subjectes al control metrològic de l'Estat es basa en la comprovació de la conformitat dels instruments amb els requisits essencials i específics amb el pas del temps, una vegada posats en servei. Aquests controls es duen a terme mitjançant:

- La verificació després d'una reparació o modificació, que no és més que un conjunt d'exàmens administratius, visuals i tècnics, que poden ser realitzats a un laboratori o al lloc d'ús, que tenen per objecte comprovar i confirmar que un instrument o sistema de mesura en servei manté, després d'una reparació o modificació que requereixi trencament de precintes, les característiques metrològiques que li siguin aplicables, especialment pel que fa als errors màxims permesos, així com que funcioni d'acord amb el seu disseny i sigui conforme a la seva regulació específica i, si s'escau, al disseny o model aprovat.
- La verificació periòdica, que no és més que el conjunt d'exàmens administratius, visuals i tècnics, que poden ser realitzats en un laboratori o en el lloc d'ús, que tenen per objecte comprovar i confirmar que un instrument de mesura en servei manté des de la darrera verificació o, en el cas de la primera verificació periòdica, des de la posada en servei, les característiques metrològiques que li siguin aplicables, especialment pel que fa als errors màxims permesos, així com que funcioni conforme al seu disseny i sigui conforme a la seva regulació específica i, si s'escau, al disseny o model aprovat.

En aquesta fase de control metrològic, els agents que intervenen són:

- Titulars: tota persona física o jurídica que té la propietat o usdefruit d'un instrument de mesura.
- Reparadors: tota persona física o jurídica responsable de la reparació o modificació, que impliqui l'aixecament de precintes, d'un instrument de mesura.
- Organismes autoritzats de verificació metrològica: entitat, pública o privada, designada per habilitació d'una Administració pública competent, per a la rea-

lització i emissió de les certificacions oportunes relatives als controls metrològics determinats en el control en servei dels instruments de mesura.

3.1. Obligacions dels titulars dels instruments de mesura

Si els seus instruments, equips o sistemes es troben dins dels usos establerts per la reglamentació que regula el control metrològic de l'Estat, han de disposar d'instruments amb marcatge de conformitat metrològic i amb la corresponent declaració UE de conformitat.

Per tot això:

- Sol·licitaran la verificació després de la reparació o modificació davant d'un organisme autoritzat de verificació metrològica, un cop hagi actuat un reparador sobre els seus instruments de mesura i amb aixecament de precintes.
- Sol·licitaran la verificació periòdica davant d'un organisme autoritzat de verificació metrològica, com a mínim un mes abans que transcorri el període determinat, d'acord amb la periodicitat establerta reglamentàriament, a condició que no hi hagi hagut l'actuació d'un reparador amb aixecament de precintes.
- Col·laboraran amb les administracions públiques competents en vigilància de mercat, tot aportant tota la documentació requerida dins de la seva acció inspectora.

3.2. Obligacions dels reparadors d'instruments de mesura

Quan els titulars dels instruments de mesura necessitin una actuació de reparació o de modificació dels seus instruments de mesura, caldrà que es posin en contacte amb una empresa reparadora degudament inscrita al Registre de Control Metrològic.

Aquestes empreses reparadores:

- Han d'estar degudament inscrites al [Registre de Control Metrològic](#) per l'Administració pública competent, mitjançant una declaració responsable, i que, si escau, pot ser revocada per la mateixa Administració pública competent que les hi va inscriure, segons un procediment establert.
- Han de disposar de mitjans tècnics adients per a ajustar els equips de mesura que reparin o modifiquin, d'acord amb la declaració responsable presentada per a la seva inscripció al Registre de Control Metrològic.
- Han de disposar de precintes de reparació degudament numerats, amb la numeració facilitada per l'Administració pública competent que les va inscriure en el [Registre de Control Metrològic](#).

- Un cop reparat o modificat un instrument de mesura, i una vegada s'hagi comprovat el funcionament correcte ajustant a zero l'error de l'instrument i s'hagi comprovat que els resultats dels seus mesuraments es troben dins dels errors màxims permesos reglamentàriament, hauran de col·locar novament els precintes que hagin hagut de destruir per a la seva intervenció i han d'omplir completament l'informe de reparació i qualsevol altre que sigui procedent (per exemple, un butlletí de control metrològic, si s'escau).
- Han de col·laborar amb les administracions públiques competents en vigilància de mercat, tot aportant tota la documentació requerida dins de la seva acció inspectora.

3.3. Obligacions dels organismes autoritzats de verificació metrològica

Quan els titulars dels instruments de mesura necessitin dur a terme la verificació després de la reparació o modificació, o la verificació periòdica dels seus instruments de mesura, caldrà que es posin en contacte amb un organisme autoritzat de verificació metrològica designat pel tipus d'instrument de mesura a verificar.

Aquests organismes autoritzats de verificació metrològica:

- Han de ser degudament designats per l'Administració pública competent mitjançant una resolució expressa, segons un procediment establert, i que, si escau, pot ser revocada per la mateixa Administració pública competent que els va designar, d'acord amb un procediment establert. A més, aquesta Administració pública inscriurà l'organisme en el [Registre de Control Metrològic](#).
- Han de complir amb les mateixes obligacions generals que els organismes notificats i els organismes de control metrològic. A més, han de complir amb una sèrie d'obligacions específiques:
 - Els instruments de mesura hauran de superar un examen administratiu.
 - Els instruments de mesura hauran de superar un examen metrològic: els instruments assajats no han de superar mai els errors màxims permesos establerts reglamentàriament.
 - La no superació d'un dels dos assaigs no eximeix que s'hagin de fer tots els exàmens i assaigs fins al final.
 - Han de gestionar uns terminis d'actuació:
 - Temps màxim per a dur a terme la verificació en servei des que reben una sol·licitud de verificació: 30 dies.
 - Temps mínim per a informar prèviament l'Administració pública d'una verificació: 3 dies.
 - Temps màxim per a comunicar a l'Administració

pública competent accions fraudulentas: immediatament.

- Temps màxim per a comunicar a l'Administració pública competent precintes que no compleixen els seus objectius o manca de precintes: 3 dies.
- Temps màxim per a emetre un informe desfavorable de verificació: 5 dies.
- Temps màxim per a emetre un certificat de verificació: 10 dies.
- Han de disposar de precintes de verificació degudament numerats (numeració facilitada per l'Administració pública competent que els va designar).

Com en el cas dels organismes d'avaluació de la conformitat (organismes notificats i organismes autoritzats de verificació metrològica), les obligacions reglamentàries establertes per als organismes autoritzats de verificació metrològica també han d'estar implementades com a requisits dels seus processos.

4. Conclusions

Com és sabut, la metrologia és la ciència que estudia les mesures i les seves aplicacions. Una ciència amb més de cinc mil anys d'antiguitat, atès que hi ha evidències que a l'antic Egipte, cap a l'any 3.000 abans de Crist, ja s'aplicava per a la construcció de les piràmides i hi ha constància que es realitzaven calibratges amb patrons de mesura (el colze real).

La metrologia inclou tots els aspectes teòrics i pràctics de les mesures, sigui quina sigui la seva incertesa i el seu camp d'aplicació i sempre que aquest es trobi relacionat tant amb la metrologia científica com amb la metrologia industrial o la metrologia legal.

La metrologia legal no és un compendi de reglamentació que hagi aparegut de sobte, sinó que és l'evolució d'una necessitat de la societat de garantir les mesures d'interès públic que influeixen sobre la transparència de les transaccions comercials, la salut i la seguretat de les persones.

Amb el sistema establert amb el control metrològic de l'Estat:

- Els organismes han de tenir implementades a la seva sistemàtica les obligacions establertes en el marc reglamentari que regula el control metrològic de l'Estat (Reial decret 244/2016, Reial decret 249/2025, Ordre ICT/155/2020, Ordre ITU/1475/2024, la norma UNE-EN ISO/IEC 17065:2012 i la norma UNE-EN ISO/IEC 17020:2012, segons s'escaigui).
- Els avaluadors de la competència tècnica dels organismes han de valorar que aquests tenen implementades en la seva sistemàtica les obligacions establertes al marc reglamentari que regula el control metrològic de l'Estat (Reial decret 244/2016, Reial decret 249/2025, Ordre ICT/155/2020, Ordre ITU/1475/2024, la norma UNE-EN ISO/IEC 17065:2012 i la

norma UNE-EN ISO/IEC 17020:2012, segons s'escaigui).

- Els organismes notificats i els organismes de control metrològic que avaluïn a tercers (principalment, agents econòmics) han d'avaluar que aquests organismes tenen implementades en la seva sistemàtica les obligacions establertes en el marc reglamentari que regula el control metrològic de l'Estat (Reial decret 244/2016, Reial decret 249/2025 i la norma UNE-EN ISO/IEC 17065:2012).
- Els organismes autoritzats de verificació metrològica, quan duen a terme una verificació en servei, han d'avaluar vers els instruments de mesura les actuacions d'empreses reparadores (és a dir, les seves obligacions com a empresa reparadora: precintat, ajustament d'errors, informes de reparació, etc.) establertes en el marc reglamentari que regula el control metrològic de l'Estat (Reial decret 244/2016,

Reial decret 249/2025, Ordre ICT/155/2020 i Ordre ITU/1475/2024).

Sense haver d'estendre's més, les persones interessades en els canvis introduïts al control metrològic de l'Estat dels instruments de mesura, produïts al Reial decret 244/2016 i a l'Ordre ICT/155/2020, a conseqüència de l'entrada en vigor del Reial decret 249/2025 i l'Ordre ITU/1475/2024, poden consultar el web del [Centro Español de Metrología](#), d'accés públic.

El present article no ha intentat resumir, interpretar ni ha pretès substituir el redactat de cadascuna de les disposicions que regulen el control metrològic de l'Estat i que hi han estat mencionades. Només ha pretès fer públics aspectes que afecten tots els agents implicats en l'aplicació del control metrològic de l'Estat vers els instruments de mesura i que es troben sota el control de les administracions públiques competents.

DIGITALITZACIÓ I METROLOGIA

Joan Martínez Gómez

Director de Qualitat i Metrologia de Dibal, SA

Membre del Grup de Metrologia Legal del CECIP (Comitè Europeu de Constructors d'Instrumentes de Pesatge)

La digitalització està transformant ràpidament el sector de la metrologia, impulsada per la necessitat de millorar l'eficiència, la traçabilitat, la transparència en la gestió de dades i l'avanç cap a una economia més verda, eliminant l'ús de tecnologia tradicional com, per exemple, la impressió física en paper. A mesura que les empreses del sector avancen cap a la indústria 4.0, sorgeixen noves normatives i eines digitals que revolucionen els processos tradicionals. Vegem alguns dels avenços que s'estan produint.

1. El passaport digital de producte

El passaport digital de producte (DPP, segons la sigla en anglès) és una iniciativa impulsada per la Comissió Europea dins del context de l'economia circular, la sostenibilitat i la digitalització de productes industrials. El seu objectiu principal és proporcionar un accés complet i detallat a la informació rellevant del producte al llarg del seu cicle de vida. El març del 2022, la Comissió Europea va proposar el Reglament sobre disseny ecològic per a productes sostenibles (ESPR), que introdueix el passaport digital de producte com a requisit per a la comercialització de certs productes a la Unió Europea.

Aquest document digital recull dades essencials de cada producte, com ara el fabricant, el número de sèrie, les especificacions tècniques, manuals d'ús, l'historial de manteniment, calibratges, verificacions i possibles modificacions realitzades. A més, s'hi poden incloure dades sobre la sostenibilitat del producte, la seva eficiència energètica i el compliment normatiu.

Un dels principals avantatges del passaport digital de producte és que facilita l'intercanvi d'informació entre les diferents parts implicades durant tota la vida útil del producte, des de fabricants i distribuïdors fins a usuaris finals i autoritats reguladores. Això permet una gestió més eficient de la traçabilitat i la sostenibilitat dels instruments de mesura.

El format digital garanteix l'actualització contínua de les dades, que permet als usuaris accedir sempre a informació verificada i actual. Això és especialment rellevant en sectors regulats en què la precisió i la conformitat són crucials.

Pel que fa als terminis establerts, la Comissió Europea ha fixat l'any 2026 com a data clau perquè els sectors industrials comencin a implementar els passaports digitals de producte de manera progressiva, mentre que s'espera una adopció generalitzada cap a l'any 2030. En paral·lel, la Comissió ja ha llançat la sol·licitud a diferents entitats de normalització per al desenvolupament dels estàndards necessaris per a la implantació del DPP.

2. Certificats de calibratge digitals

La digitalització també ha arribat a l'àmbit dels certificats de calibratge en diversos camps, com poden ser les masses patró o els mateixos instruments de pesatge. Aquests certificats de calibratge digitals (DCC, segons la sigla en anglès) no només garanteixen la precisió i fiabilitat de les mesures, sinó que també permeten un accés àgil i segur als documents, facilitant així la seva integració en sistemes de gestió de qualitat i assegurant una correcta traçabilitat.

Cal destacar que no estem parlant simplement de reproduir en un format, com per exemple en PDF, un certificat que històricament s'imprimia i s'arxivava en paper. L'objectiu és més ambiciós que això i implica l'ús de metadades per a un reconeixement automàtic entre màquines.

Una tecnologia destacada en aquest àmbit és l'ús d'arxius en format XML, desenvolupat a Alemanya, que permet estructurar les dades de calibratge de manera estandarditzada i accessible. Aquest format facilita la interoperabilitat entre diferents sistemes i garanteix la integritat de la informació durant l'intercanvi de dades entre laboratoris, fabricants i usuaris.

Tanmateix, per a interpretar correctament aquests certificats digitals, és imprescindible disposar d'un programari adequat que permeti llegir el format XML i una interfície que faciliti la seva incorporació a les bases de dades finals dels usuaris. Això garanteix que la informació continguda en els certificats pugui integrar-se de manera eficient en els sistemes de gestió documental i de qualitat de cada empresa.

A més, un certificat de calibratge digital ben desenvolupat ha de permetre a l'usuari determinar si l'instrument de pesatge, encara que no sigui vàlid per a tota l'escala de mesura, continua sent utilitzable en un rang específic. Això és

fonamental en aplicacions en què es necessita precisió en determinats trams del rang de mesura.

L'adopció d'aquests formats digitals no només optimitza l'emmagatzematge i la consulta de certificats, sinó que també promou l'automatització en la verificació i l'anàlisi dels resultats de calibratge.

El repte actual és assolir un estàndard acordat internacionalment, ja que l'Institut Nacional de Metrologia d'Alemanya (PTB) en cooperació amb l'Associació Europea d'Instituts Nacionals de Metrologia (EURAMET) han liderat una opció molt avançada, però hi ha altres iniciatives en marxa a Itàlia i als Estats Units que produiran certificats digitals amb altres formats. La clau per a l'èxit de la digitalització, en aquest camp, implicarà la unificació de formats.

3. Declaracions de conformitat digitals

Les declaracions de conformitat digitals són una peça essencial en l'entorn normatiu actual. Aquests documents verifiquen que l'instrument en qüestió compleix amb les normatives europees i nacionals aplicables a través de la declaració del fabricant, que té la responsabilitat de prendre les mesures necessàries per a assegurar el compliment normatiu. El format digital permet una consulta fàcil, l'emmagatzematge i la transmissió, tot evitant la pèrdua de documentació en paper.

La implementació de declaracions de conformitat digitals ofereix múltiples avantatges. En primer lloc, facilita l'accés remot i l'actualització de la informació i assegura que sempre es tingui a disposició la darrera versió validada del document. Això resulta especialment útil en auditories i processos de control de qualitat.

En segon lloc, permet als fabricants i distribuïdors gestionar, de manera més eficient, el conjunt de documentació tècnica requerida per a cada instrument, integrant-la directament en les seves plataformes digitals de gestió de qualitat.

En tercer lloc, per als usuaris finals, l'accés a la declaració digital mitjançant codis QR o enllaços en la documentació tècnica de l'equip garanteix una consulta ràpida i fiable de l'estat de conformitat de l'instrument. Així mateix, les autoritats d'inspecció de mercat poden verificar la validesa del document de manera immediata, millorant així l'eficiència en els processos de control.

D'altra banda, en l'àmbit europeu, la Comissió Europea està impulsant diverses iniciatives per a harmonitzar i digitalitzar els processos relacionats amb la conformitat dels productes en el mercat interior. Aquestes iniciatives busquen establir marcs jurídics uniformes que facilitin la implementació de declaracions de conformitat digitals, per tal de millorar l'eficiència i la transparència en la verificació normativa. A més, s'estan promovent plataformes digitals que permetin el registre i la consulta d'aquests documents per beneficiar fabricants, autoritats i consumidors.

Finalment, l'ús de declaracions de conformitat digitals contribueix, a més, a la sostenibilitat pel fet de reduir l'ús

de paper i millorar la gestió documental, tot promovent pràctiques més responsables i eficients en el sector.

Tanmateix, caldrà completar la generació d'aquesta documentació amb eines de difusió adequades, com la que abordem en l'apartat següent.

4. Base de dades digital europea d'instruments de pesatge

En el futur, la Comissió Europea preveu establir una base de dades digital centralitzada per a instruments de pesatge. Cal esperar que aquesta iniciativa s'ampliï a la resta d'instruments de mesura potencialment afectats per aquesta possible millora tecnològica. Aquesta plataforma té com a objectiu millorar la transparència, la traçabilitat i l'accessibilitat de la informació relacionada amb els equips comercialitzats a Europa.

La base de dades estarà dirigida a diferents tipus d'usuaris, cadascun amb nivells d'accés diferenciats segons les seves necessitats i competències:

- *Fabricants*: podran registrar i actualitzar la informació dels seus productes, incloent-hi característiques tècniques, certificats de calibratge i declaracions de conformitat.
- *Autoritats d'inspecció de mercat*: tindran accés a dades rellevants per a verificar el compliment normatiu dels equips en circulació.
- *Usuaris finals*: podran consultar dades bàsiques dels instruments que utilitzen, com la validesa dels certificats de calibratge i la conformitat amb normatives vigents.
- *Organismes notificats i laboratoris de calibratge*: podran integrar i validar certificats digitals, garantint-ne la disponibilitat i l'autenticitat.

Aquest enfocament d'accés escalonat garanteix la protecció de dades crítiques i permet un ús eficient de la informació segons el perfil de l'usuari.

5. Ús de dispositius mòbils com a elements de visualització

En el context de la digitalització dels instruments de mesura, un aspecte innovador és la utilització de dispositius mòbils, especialment telèfons intel·ligents, com a elements de visualització remota. Aquesta tendència respon a la creixent necessitat de flexibilitat i mobilitat en entorns industrials i comercials.

Mitjançant aplicacions específiques, o interfícies web, els telèfons mòbils poden connectar-se directament als equips a través de Bluetooth, Wi-Fi o connexions al núvol. Això permet a l'usuari visualitzar en temps real els resultats de les mesures, accedir als registres històrics i verificar l'estat de l'equip des de qualsevol ubicació.

La integració de dispositius mòbils com a visualitzadors també permet una millor gestió de les dades de les mesures, ja que facilita la seva exportació a altres sistemes o el seu enviament directe a plataformes de gestió documental. A més, contribueix a l'accessibilitat, ja que els usuaris poden monitorar i controlar l'instrument sense necessitat d'estar físicament presents al lloc d'instal·lació.

Un altre avantatge significatiu de la digitalització és la possibilitat, ja implementada per alguns actors, d'eliminar els tradicionals tiquets de compra en paper. Els instruments digitals poden generar tiquets electrònics que es visualitzen directament al telèfon mòbil o s'envien per correu electrònic. Així no només es redueix el consum de paper, i es contribueix a la sostenibilitat, sinó que també es facilita l'emmagatzematge i la gestió dels comprovants de compra, la qual cosa permet un accés més ràpid i organitzat als registres.

Aquesta funcionalitat s'alinea amb l'enfocament de digitalització i connectivitat en el sector dels instruments de mesura, tot oferint més comoditat i eficiència operativa.

6. Beneficis de la digitalització en el sector dels instruments de mesura

La digitalització del sector dels instruments de mesura no només optimitza els processos interns de les empreses dels fabricants i dels usuaris, sinó que també aporta transparència, confiança, eficiència i sostenibilitat al llarg del cicle de vida del producte. Adaptar-se a aquests canvis és fonamental per a mantenir-se competitiu i alineat amb les normatives emergents en l'àmbit europeu.

La digitalització ens envolta en el dia a dia i no podem mirar cap a una altra banda; com a exemple podem parlar dels telèfons mòbils intel·ligents, que avui són d'ús diari, però que no existien fa quinze anys, i de com es van desenvolupar les regulacions i normatives que els controlen.

És imprescindible un esforç en la renovació per a fer un salt endavant.

MAGNITUDS I NOMBRES: NATURALS, RACIONALS I REALS

Eugeni Vilalta López

Secció Catalana de Metrologia

En metrologia hi ha una manera de tractar els nombres i les magnituds que, de vegades, provoca sorpreses en científics d'altres disciplines.

Alguns aspectes estan relacionats amb els conceptes de *nombre* i *magnitud*. En l'antiga Grècia, els nombres eren objecte d'estudi de l'aritmètica i eren naturals o racionals; les magnituds eren objecte de la geometria i no necessitaven nombres per al seu tractament, que podia fer-se amb regla i compàs. La tradició relata que el descobriment que la proporció entre la diagonal d'un quadrat i el seu costat no corresponia a un nombre racional va comportar almenys un assassinat a l'escola pitagòrica. La geometria analítica de [Descartes](#) i la definició acurada dels nombres reals, obra de [Dedekind](#), van permetre resoldre aquesta classe de problemes.

La situació que tractem ara va actualitzar-se amb motiu de la nova definició de *mol* el 2019. La magnitud «quantitat de substància» va ser descoberta, al llarg del segle XIX, conjuntament amb la formulació de la hipòtesi atòmica, però és independent d'aquesta i, de fet, [Wilhelm Ostwald](#), el gran propulsor del concepte de *quantitat de substància*, va oposar-se a l'existència real dels àtoms fins que l'evidència va passar a ser incontrovertible.

La *quantitat de substància* és un concepte que s'obté a partir de les lleis de les proporcions fixes i de les proporcions múltiples, que desvelen que hi ha un cert sentit en què 1 g d'hidrogen correspon a 16 g d'oxigen o a 12 g de carboni. I aquesta mateixa correspondència es troba, físicament, en el comportament dels gasos perfectes i altres lleis termodinàmiques, amb els mateixos valors numèrics. Aquestes masses es corresponen perquè totes corresponen a la mateixa quantitat de substància i aquest coneixement es codifica en els pesos atòmics. Aquests pesos atòmics permeten l'establiment de la taula periòdica dels elements (excepte quan els pesos atòmics i el nombre atòmic no segueixen el mateix ordre, on el bon sentit de [Mendelèiev](#) l'ajusta a la periodicitat de les propietats).

Operativament la quantitat de substància d'una mostra s'obté a partir de la seva massa i de les taules de masses atòmiques relatives (pesos atòmics) de la Unió Internacional de Química Pura i Aplicada (IUPAC) i de l'Institut Nacional d'Estàndards i Tecnologia (NIST), tant per a les composicions isotòpiques naturals a la Terra com per a cadascun dels isòtops. Per comoditat, la unitat s'estableix de

manera que el mol d'una substància té una massa en grams igual a la seva massa atòmica en dalton, Da. Tot això és previ a l'evidència directa de l'existència d'àtoms ([Einstein](#), 1905 i [Perrin](#), 1909).

Encara que la quantitat de substància s'obté operativament com una magnitud contínua, des del segle XX, on la concepció atòmica és diàfana i prominent, l'èmfasi es posa en la relació entre la quantitat de substància i el nombre d'entitats elementals, nombre d'Avogadro i, per tant, en el seu caràcter fonamentalment discret.

Quan el mol passa a formar part del sistema internacional d'unitats (SI), el 1971, la definició combina les dues visions, definint-lo operativament a partir de la massa i la massa atòmica relativa, però introduint-hi el concepte d'*entitats elementals*: «el mol és la quantitat de substància d'un sistema que conté tantes unitats elementals com àtoms hi ha en 12 g de carboni 12». Aquesta definició no va causar debat sobre el tema que ens ocupa, perquè no es diu expressament que la quantitat de substància és una magnitud contínua, sinó només per referència a la massa.

Però la definició actual, de 2019, no inclou la definició operativa, sinó que només menciona les entitats elementals: «El mol és la unitat del SI de quantitat de substància. Un mol conté exactament $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ entitats elementals. Aquest nombre, anomenat nombre d'Avogadro, és el valor numèric fixat de la constant d'Avogadro, N_A , quan s'expressa en la unitat mol^{-1} . La quantitat de substància, símbol n , d'un sistema és una mesura del nombre d'entitats elementals especificades». Ara ja no hi ha cap referència a magnituds contínues com la massa.

Per aclarir una mica el que els redactors ja tenien clar, a la publicació de l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures (BIPM) sobre les unitats es declara «La constant d'Avogadro, N_A , és una constant de proporcionalitat entre la magnitud *quantitat de substància* (amb unitat mol) i la magnitud *nombre d'entitats elementals* (amb unitat u, símbol 1)».

És coherent tenir una magnitud com la quantitat de substància, que s'expressa partint dels nombres reals, però que també és proporcional a una magnitud, el nombre d'entitats elementals, que s'expressa partint de nombres naturals?

Per a veure que sí, cal veure totes dues magnituds operativament. Com ens indica el nombre d'Avogadro, hi ha $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ àtoms de carboni en 12 g de carboni 12.

La resolució més petita dels instruments de pesatge és de 0,1 µg, que correspon a $5,018\,450\,63 \times 10^{15}$ àtoms de carboni 12, impossibles de comptar. Fins i tot per a una molècula orgànica de massa 4 MDa, 0,1 µg corresponen a $1,254\,612\,67 \times 10^9$ molècules, que continuen essent impossibles de comptar (la constant d'Avogadro, fins i tot en aquest cas extrem es queda en les desenes d'unitats).

En altres aplicacions sí que podem comptar les unitats, 5 àtoms, 20 electrons, però comptant no arribarem als milers de milions. A més, el resultat és impossible de mesurar amb mitjans macroscòpics ordinaris, com balances o voltímetres.

Les dues magnituds, doncs, tenen dominis operatius diferents, però estan relacionades, ja que la natura conté entitats elementals. La constant d'Avogadro és la constant que relaciona els dos nivells. És una constant de la natura? Des del punt de vista metrològic, només ens interessa la constància en el temps i, aleshores, la resposta és sí. Però, és una constant que ens diu alguna cosa sobre la natura? També, perquè ens parla de quants àtoms ha de tenir un sistema capaç de raonar científicament.

Tenir la diferència entre constant d'Avogadro i el nombre d'Avogadro és important, no només per a mantenir la separació entre les dues magnituds, nombre d'entitats i quantitat de substància, sinó també per a prendre compte d'una certa arbitrarietat en la tria de la unitat. El mol és arbitrari en la mateixa mesura que ho és el gram. Per això, alguns usuaris de les unitats tradicionals del sistema anglosaxó d'unitats van introduir el pound-mole, equivalent a 453,59237 mol, de manera que sigui el nombre d'entitats elementals en 12 lliures, 12 lb, de carboni 12. Evidentment, això implica una diferència en el valor numèric del nombre d'entitats en la unitat pound-mole, però no en la constant d'Avogadro. La constant d'Avogadro és $6,022\,140\,76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, i es manté sense canvis com $6,022\,140\,76 \times 453,59237 \times 10^{23} \text{ pound-mole}^{-1}$.

És significatiu que qui planteja aquests problemes no els planteja també en el cas de la càrrega elèctrica. Des del 2019, el valor de la càrrega elèctrica elemental, e , està fixat en $1,602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{ C}$ i, doncs, el coulomb queda definit com: «la càrrega d'un determinat nombre de càrregues elementals». De manera que la càrrega elèctrica queda definida com «la suma de càrregues elementals (discreta), però per als valors grans s'obté de manera operativa com a magnitud contínua». De fet, com que ningú no hi veu problema, ni tan sols donem noms diferents a la magnitud discreta i a la contínua i «càrrega elèctrica» ens serveix tant per comptar, la d'un electró, la de dos electrons, per exemple quan treballem amb ions, com per quan la mesurem amb un amperímetre i un cronòmetre, o mitjançant la constant de Faraday, o per qualsevol altre mitjà macroscòpic.

En el tractament precedent s'ha posat de manifest una altra característica del tractament metrològic dels nombres. Els metròlegs parlen de *magnituds contínues*, amb nombres reals, perquè hi apliquen tot l'aparell de l'anàlisi matemàtica, però sempre assignen a les mesures nombres racionals, densos, però comptables, a causa de la resolució de mesura, sempre finita.

Referències

- [1] EINSTEIN, A. «Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen». *Annalen der Physik*, vol. 322, núm. 8 (1905), 549-560. [en línia]. <https://myweb.rz.uni-augsburg.de/~eckern/adp/history/einstein-papers/1905_17_549-560.pdf> [1 març 2026].
- [2] PERRIN, J. «Mouvement brownien et réalité moléculaire». *Annales de Chimie et de Physique* (1909).

CELEBRACIÓ DEL DIA MUNDIAL DE LA METROLOGIA 2025

Josep Campolier

Secció Catalana de Metrologia, Societat Catalana de Metrologia de l'IEC

Albert Garcia-Benadí

SARTI, Universitat Politècnica de Catalunya

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5560-4392>

El 20 de maig és el Dia Mundial de la Metrologia, segons la resolució de la 42a Conferència general de la UNESCO, per celebrar la convenció del metre, realitzada en 1875 i que va donar lloc a l'establiment del sistema internacional d'unitats (SI). Aquesta fita no és menyspreable, ja que el SI és el sistema bàsic d'unitats de què disposem actualment i que ens ha permès evolucionar amb el temps. Però aquest sistema internacional és inalterable? Doncs no, el sistema internacional ha anat evolucionant amb el temps, tant com la nostra tecnologia associada, i els canvis es detallen en les reunions de la Conferència General de Pesos i Mesures, CGPM, que el 2022 va celebrar la 27a reunió. Recordem que les magnituds bàsiques i les seves unitats estan en la figura 1.

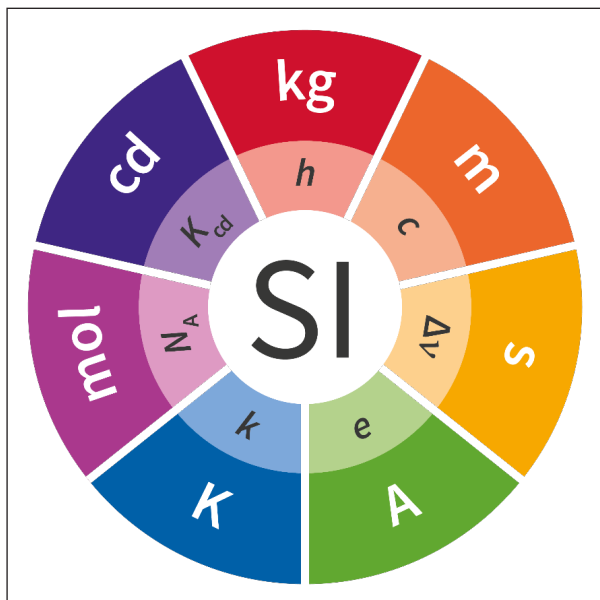


FIGURA 1. Magnituds i unitats bàsiques del SI.

FONT: Oficina Internacional de Pesos i Mesures (BIPM) <<https://www.bipm.org/en/measurement-units/si-promotion>>.

Per tant, les magnituds i les seves definicions i materialitzacions han canviat amb el temps. Per veure aquesta evolució, podem fer-ho [aquí](#). Però en aquest article perquè veieu un exemple de l'evolució d'una de les magnituds, analitzem el cas de l'ampere: les unitats elèctriques, anome-

nades «unitats internacionals», per al corrent i la resistència van ser introduïdes pel Congrés Elèctric Internacional celebrat a Chicago el 1893 i les definicions de «l'ampere internacional» i «l'ohm internacional» van ser confirmades per la Conferència Internacional de Londres el 1908.

A l'època de la 8a CGPM (1933) hi havia un desig unànime de substituir les «unitats internacionals» per les anomenades «unitats absolutes». No obstant això, a causa del fet que alguns laboratoris encara no havien completat els experiments necessaris per a determinar les proporcions entre les unitats internacionals i absolutes, la CGPM va donar autoritat al Comitè Internacional de Pesos i Mesures (CIPM) per decidir en un moment adequat aquestes proporcions i la data en què entrarien en vigor les noves unitats absolutes. El CIPM ho va fer el 1946, quan va decidir que les noves unitats entrarien en vigor l'1 de gener de 1948. L'octubre de 1948 la 9a CGPM va aprovar les decisions preses pel CIPM. La definició de l'ampere, escollit pel CIPM, es referia a la força entre els cables paral·lels que transportaven un corrent elèctric i tenia l'efecte de fixar el valor numèric de la permeabilitat magnètica del buit μ_0 (també anomenada *constant magnètica*). El valor numèric de la permitivitat elèctrica del buit ϵ_0 (també anomenada *constant elèctrica*) es va fixar a conseqüència de la nova definició de *metre* adoptada el 1983.

No obstant això, la definició de 1948 de l'ampere va resultar difícil de realitzar i els estàndards quàntics pràctics (basats en Josephson i els efectes quàntics-calor), que vinculen tant el volt com l'ohm a combinacions particulars de la constant de Planck h i la càrrega elemental e , es van utilitzar gairebé universalment com a realització pràctica de l'ampere a través de la llei d'Ohm. Com a conseqüència, es va fer natural no només fixar el valor numèric de h per redefinir el quilogram, sinó també fixar el valor numèric de e per redefinir l'ampere per tal de portar els estàndards elèctrics quàntics pràctics a un acord exacte amb el SI. La definició actual basada en un valor numèric fix per a la càrrega elemental, e , es va adoptar a la Resolució 1 de la 26a CGPM (2018).

Amb la finalitat de fer palès a la societat aquests canvis i modificacions, cada país celebra algunes reunions per a explicar la informació i fer-ne difusió. A Catalunya, la **Secció Catalana de Metrologia**, que forma part de la **Societat Catalana de Tecnologia** de l'**Institut d'Estudis Catalans** i va néi-

xer en 2017, ha realitzat diversos actes per a la celebració del DMM, dels quals destaquem les celebracions del 2018 a les instal·lacions de l'Escola Politècnica de Vilanova i la Geltrú i en 2019 al Centre de Cultura Contemporània de Barcelona.

El 2025, la Secció Catalana de Metrologia, juntament amb la SCT, i gràcies a les facilitats de **Mettler Toledo**, va celebrar el Dia Mundial de la Metrologia a les instal·lacions de Mettler Toledo de Cornellà de Llobregat (Barcelona). En aquest cas, la celebració va ser doble, per una banda, aquest 2025 és el 150è aniversari de la creació de l'Oficina Internacional de Pesos i Mesures (**BIPM**), i, per l'altra, el centenari de la formulació de la quàntica el 1925. Però abans, volem indicar l'excepcionalitat de l'any amb el pòster que cada any fa el BIPM (vegeu la figura 2), i on destaquem la frase que ho representa, que és «Mesures per a tots els temps, per a tots els pobles»:



FIGURA 2. Pòster del DMM 2025, adaptat per la Secció Catalana de Metrologia

FONT: Traducció del pòster original extret d'<https://www.worldmetrologyday.org/posters.html>.

A més del segell del BIPM, inclou una segona medalla que mostra:

Les set orbes/planetes, que representen la universalitat del sistema internacional d'unitats, i simbolitzen la interconnectivitat dels mesuraments científics globals. Les línies representen la interdependència de les unitats de base.

Les lletres, dins dels planetes, representen les set unitats bàsiques del SI: metre (longitud), segon (temps), kilo-

gram (massa), mol (quantitat de substància), candela (intensitat lluminosa), kelvin (temperatura) i ampere (corrent elèctric).

Les estrelles signifiquen il·luminació, llum i la promesa de futurs descobriments científics.

La vora interior conté 60 línies, i simbolitza els segons i el temps.

La vora exterior conté línies als 360° i simbolitza la localització.

La data, 1875, és l'any de la signatura de la Convenció del Metre i de l'establiment del BIPM com a organització internacional dedicada a la unificació mundial dels mesuraments.

Les línies que radien des del centre representen l'horitzó, contínuament en expansió, de la metrologia en l'espai, la ciència i la innovació.

La celebració va ser pivotada per dos eixos: un eix en el qual es van realitzar diverses presentacions, i l'altre eix amb la presentació de les diferents activitats i la visita als espais de Mettler Toledo. En l'eix de presentacions, es van presentar tres ponències, una sobre el paper de MT en el camp de la metrologia, presentada pel senyor Oscar Dijort; una segona ponència sobre la metrologia forense, presentada per Josep Maria Arqués, membre del Cos de Mossos d'Esquadra, i la darrera sobre la quàntica, presentada per Eugeni Vilalta.



FIGURA 3. Presentació de Mettler Toledo.

FONT: Fotografia de l'autor.



FIGURA 4. Presentació de la metrologia forense.

FONT: Fotografia de l'autor.



FIGURA 5. Presentació de la quàntica.

FONT: Fotografia de l'autor.

En el segon eix, el personal de Mettler Toledo va ser molt amable i va ensenyar les diferents àrees en les quals

treballa aquesta empresa, en què la metrologia té un paper rellevant i de vital importància.



FIGURA 6. Visita a les instal·lacions de Mettler Toledo de Cornellà de Llobregat (Barcelona).

FONT: Fotografia de l'autor.

Des de la Secció Catalana de Metrologia creiem que ha estat una gran celebració del DMM, i agraïm a tots els assistents i assistentes, al president de la SCT, així com a Mettler Toledo el seu acolliment i la seva generositat.

METROLOGIA FORENSE (PART 1)

Josep M. Arqués Soldevila

Divisió de Policia Científica de la Policia de la Generalitat - Mossos d'Esquadra

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2845-5653>

La metrologia forense és una branca desconeguda fins a l'arribada d'algunes sèries de televisió. Cal assenyalar i recordar que el que veiem a la televisió sempre pot distar molt de la realitat, i, per aquest motiu, la finalitat de l'article és donar a conèixer la realitat de la metrologia forense, rigorosa, que sí que s'aplica en el món real.

L'article està ordenat per punts per a facilitar al lector la seva comprensió i s'ha dividit en dues parts, la segona de les quals es publicarà en el número 9 del BUTLLETÍ DE LA SOCIETAT CATALANA DE METROLOGIA.

1. Què és la metrologia forense?

A l'article «Informàtica forense i validació de mètodes» [1], publicat en el número anterior d'aquest mateix butlletí, es va introduir la definició de *ciència forense*, que podria ser entesa, de manera molt general, com «aquella que té per objecte l'aplicació de pràctiques científiques dins del procés legal».

Les ciències forenses han sofert una gran evolució d'ençà que van començar a ser objecte d'un veritable escrutini científic. No només han millorat les metodologies aplicades a les ciències forenses, sinó que també s'ha avançat molt en l'explicació i la interpretació dels resultats obtinguts en aquests assajos. I és justament en aquest darrer punt en què intervé de manera determinant la metrologia forense. Segons l'entrada en anglès de la *Wikipedia* [2], «la metrologia forense és la branca de la metrologia aplicada a les ciències forenses». En efecte, les diverses disciplines forenses proveeixen, bàsicament, mesures que, posteriorment, seran emprades per a explicar els fets que s'investiguen. D'altra banda, la metrologia forense proporciona diverses tècniques que permeten avaluar el marge d'error o la incertesa associada a les mesures generades per les disciplines forenses. Donada, doncs, l'especial natura de moltes proves forenses, involucrades en investigacions d'homicidis, agressions sexuals, terrorisme, etc., s'entendrà que la metrologia forense esdevingui una eina absolutament cabdal a l'hora d'interpretar correctament els resultats d'un informe pericial.

De fet, atès que la ciència de la metrologia es troba a la base de totes les mesures, els seus principis ens proporciono-

nen un marc bàsic per a l'avaluació crítica de totes les mesures forenses, independentment de la disciplina forense que les origini [3]. Aquest marc estableix un idioma comú en què tots els participants del procés legal (jutges, policies i advocats) poden comprendre millor els resultats d'un informe pericial, interpretar-los i explicar-los, si escau.

En l'àmbit de les ciències forenses, almenys a Europa, un dels marcs referencials més importants és la norma ISO/IEC 17025, sota l'empara de la qual es troben molts dels assajos típics d'aquestes ciències. Aquesta norma ha estat determinant a l'hora de demostrar la fiabilitat dels resultats oferts per aquestes disciplines, tot i que sovint també cal recórrer, segons cada ciència forense, a altres documents, com ara els manuals de bones pràctiques (per exemple, els elaborats per l'ENFSI - European Network of Forensic Science Institutes), o altres normes ISO complementàries.

1.1. Un cas d'estudi: la importància notòria en els decomisos de droga

Un exemple característic de metrologia forense el podem trobar en el discerniment de la importància notòria en els decomisos de drogues que s'efectuen en els dispositius policials.

La *importància notòria* és una noció legal que permet al sistema judicial establir la gravetat del delicte de tràfic de drogues basant-se en la quantitat de droga decomissada i la seva destinació. Quan la quantitat és prou gran per a suggerir un tràfic comercial i no només personal, aquest concepte ajuda a determinar una penalització més severa.

L'informe de l'Institut Nacional de Toxicologia (INTCF) de data 18/10/2001¹ [4] determina les quantitats de substàncies estupefaents que podrien considerar-se d'importància notòria en el context de la legislació espanyola.

Si prenem aquest informe com a referència, en el cas concret de l'heroïna, per exemple, es determina que a par-

1. El document consultat és l'annex I d'aquest document, titulat *Cuadros de cantidades de notoria importancia y dosis mínimas psicoactivas de las principales sustancias tóxicas objeto de tráfico de drogas, actualmente vigentes*.

tir de 300 g ja es produeix el supòsit de la importància notòria. Suposem doncs, a tall d'exemple, que s'intervé heròina en un dispositiu policial i que el laboratori que l'analitza determina una mesura del pes de la substància base de $(304,00 \pm 6,08)$ g (és a dir, una mesura d'un pes amb una incertesa associada del 2 %). Considerant el principi d'*in dubio pro reo*,² el tribunal no consideraria que s'hagi produït la condició agreujant d'importància notòria, ja que si es té en compte la incertesa més favorable al detingut (297,92 g, 310,08 g), la mesura és inferior als 300 grams.

Aquest cas que acabem de presentar és un exemple senzill en què la metrologia forense ajuda a interpretar científicament el resultat obtingut en un laboratori segons la normativa legal vigent. Per descomptat, el laboratori, per a poder assegurar la fiabilitat dels resultats emesos, haurà de tenir en compte la vigència dels calibratges dels seus equips gravimètrics, la competència tècnica del personal, així com l'adequació i validació dels seus mètodes de treball segons els manuals de bones pràctiques i les normes ISO que escaiguin.

No obstant això, tal com veurem en l'apartat següent, no totes les disciplines forenses permeten gestionar la incertesa dels resultats que generen d'una manera tan fàcil i objectiva.

2. Els mètodes humans i el paradigma de la individualització

Una part molt important dels informes pericials que es fan a la policia científica es basen en l'avaluació de dues proposicions en competició (informes *avaluatius*, segons la terminologia emprada per ENFSI [5]). En general, volem saber si una troballa indubtable (per exemple, una empremta dactilar d'una persona detinguda, obtinguda en un entorn controlat) és compatible o es pot associar amb una troballa dubtable (per exemple, una empremta dactilar —total o parcial, trobada en l'escena del crim).³ En definitiva, es vol avaluar si ambdues empremtes, indubtable i dubtable, poden provenir de la mateixa font. I qui diu empremtes dactilars, diu un document escrit per una persona coneguda *versus* un document d'interès policial (per exemple, un text manuscrit anònim en què s'amenaça una persona), una imatge d'una persona detinguda amb la persona que apareix en un fotograma d'un vídeo d'un atracament, etc. La tipologia de troballes a comparar, indubtables *versus* dubtables, és molt gran, i abasta, a més dels exemples ja exposats, tota mena d'evidències trobades a les escenes dels crims: roderes de vehicles, empremtes de calçat, marques

2. *In dubio pro reo* ('en cas de dubte, a favor del reu'): és una locució llatina que expressa el principi jurídic que, en cas de dubte quant a la culpabilitat, el veredictat sempre anirà a favor del reu.

3. De vegades també pot interessar, per exemple, efectuar la comparació entre dues empremtes dubtables, també anomenades *latents*, trobades en diferents escenes d'un crim.

produïdes per eines (martells, alçaprens...), fibres, pintures, cintes adhesives, etc.

En general, aquestes analítiques es duen a terme emprant els anomenats *mètodes humans* (amb assistència o no d'equips diversos). Per exemple, en un cas típic de comparació d'empremtes dactilars, un analista específicament entrenat duria a terme l'anàlisi comparativa entre una empremta dubtable trobada a l'escena del crim amb l'empremta indubtable associada presumptament a la persona que ha comès el crim. Aquesta empremta indubtable (material de referència) pot ser proporcionada com a candidat per un programari específic que efectua cerques a la base de dades d'empremtes.

Aquests tipus d'anàlisis s'havien fonamentat tradicionalment en el que s'anomena el *paradigma de la individualització*, basat en l'assumpció teòrica que la unitat existeix [6]. Per unitat s'entén la consideració que l'origen o font d'una mostra dubtable pugui provenir només d'un origen o font única, amb *exclusió segura* de tota la resta. Això comporta la creença que podem arribar a identificar plenament un objecte o un individu a partir d'una mostra presa a l'escena del crim. Notem, però que sempre hi ha un risc > 0 (per petit que sigui) de cometre un error a l'hora d'acceptar acríticament una identificació categòrica com aquesta. No tenir en compte aquesta possibilitat és anar més enllà de la ciència i del mètode científic, molt més prudents a l'hora d'establir les seves conclusions.

De fet, quan es van començar a desenvolupar aquestes disciplines fins i tot es desconeixia si s'havien produït o no falsos positius en l'emissió dels informes pericials per la senzilla raó que no s'efectuaven exercicis de comparació interlaboratorials (o intralaboratorials) amb material de referència. No es consideraven les limitacions de les metodologies, ni es tenia en compte que l'experiència del pèrit no ho era tot: un pèrit pot tenir molta experiència, però si ho fa malament, d'aquí a un any tindrà un any més d'experiència, però continuarà emetent resultats erronis. La incertesa, en aquest cas, quedava sense quantificar i el jutge cedia el seu paper al pèrit, el qual en el fons acabava determinant la culpabilitat o la innocència del presumpte autor del delictat.

Arran de totes les crítiques suscidades des del món científic, els mètodes emprats en criminalística van començar a ser passats pel sedàs de la ciència. Avui en dia, aquests procediments han millorat molt. S'ha incidit molt en la importància de l'entrenament dels analistes, hi ha revistes científiques especialitzades en aquest àmbit (i, per tant, sotmeses a revisions entre iguals); s'han estudiat i s'han minimitzat els biaixos, tant els produïts en el procediment del mètode, com en la interpretació dels resultats; s'han calculat, en la mesura del possible, les taxes d'error, i s'han establert controls en les execucions dels procediments.

2.1. El mètode ACA-V

Una tècnica comunament acceptada en l'actualitat per a les anàlisis que deriven en l'elaboració d'informes *ava-*

l'avaluació és l'anomenada ACA-V⁴ (anàlisi, comparació, avaluació i verificació), acrònim de les quatre etapes principals del procés. Tot i que aquesta metodologia pot ser aplicada a moltes disciplines (roderes, empremtes dactilars, escriptura manuscrita, etc.), a tall d'exemple es veurà el seu funcionament en l'anàlisi comparativa d'empremtes dactilars (vegeu figura 1).

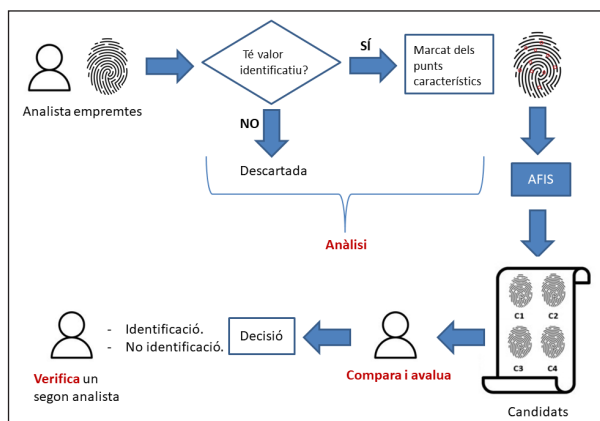


FIGURA 1. Metodologia ACA-V.
FONT: Elaboració pròpia.

- **Anàlisi.** En primer lloc, l'analista ha de comprovar si la mostra (empremta) té valor identificatiu per ella mateixa. Si no és així, s'ha de descartar.⁵ En cas contrari, l'empremta és susceptible de ser analitzada i l'analista en marcarà els punts característics.⁶ A continuació, l'empremta serà introduïda en un sistema AFIS (*Automated Fingerprint Identification System*), el qual proporcionarà una llista de candidats.
- **Comparació.** En aquesta fase, l'empremta dubtable es compararà amb els candidats obtinguts pel sistema AFIS. Aquesta comparació es durà a terme a partir dels punts característics determinats a la primera fase. Amb l'aplicació d'aquesta metodologia, en considerar el valor identificatiu de l'empremta en si mateixa i marcar els punts característics abans d'obtenir els candidats, s'evita el biaix de confirmació de l'analista. Aquest biaix pot aparèixer quan l'analista, d'acord amb una creença prèvia sobre la possible identitat d'un sospitós, es veu influït per aquesta creença mentre examina les empremtes, sobreestimant les coincidències entre l'empremta dubtable i la indubtable, o bé obviant diferències importants entre elles. Per aquest motiu, les dues fases, anàlisi i comparació, han de romandre separades.
- **Avaluació.** Tot seguit, l'analista, a la llum de les evidències trobades en les dues fases anteriors, prendrà

4. En anglès, *ACE-V: Analysis, Comparison, Evaluation and Verification*.

5. L'empremta no és susceptible de ser analitzada si no té un nombre mínim de punts característics o si no compleix determinats trets que l'analista sap que ha de posseir.

6. Els punts característics, també coneguts com a *minúcies*, són detalls específics en el patró de crestes i solcs d'una empremta dactilar.

la decisió sobre si l'empremta dubtable coincideix amb la indubtable (identificació), o bé no són coincidents (no identificació).⁷ El nombre de punts característics que han de coincidir entre l'empremta dubtable i la indubtable per a determinar una identificació pot variar segons el país que es consideri. A Espanya, se'n demanen 12; mentre que a França, en són 17; a Itàlia, entre 16 i 17, i als Estats Units, se'n demanen de 8 a 12. Els punts coincidents entre l'empremta dubtable i la indubtable s'han de trobar en la mateixa posició, sentit, orientació i mida [8]. A més, també es té en consideració la raresa (en termes de freqüència d'aparició) dels punts considerats.

- **Verificació.** Aquest procés consisteix en un examen del procés, realitzat per part d'un analista independent del primer i igualment qualificat per la disciplina. La verificació es pot dur a terme de diferents maneres, per exemple, aquest segon analista podria repetir el procés des de zero, sense tenir cap indicatiu de la decisió a la qual ha arribat el primer analista, o podria tornar a elaborar el cas a partir de les decisions preses pel primer analista [7].

La descripció detallada d'aquesta metodologia permet homogeneïtzar l'anàlisi comparativa d'empremtes per a tot el personal del laboratori i qualificar-lo segons els procediments normalitzats de treball (recordem que aquesta mateixa metodologia és també d'aplicació a altres disciplines que generen informes *avaluatius*). D'aquesta manera tots els analistes comparteixen els mateixos criteris en totes les etapes del procés (des de la tria dels punts característics fins a l'expressió de resultats). Així mateix, l'existència de procediments normalitzats facilita la incorporació de nous analistes, proporcionant-los una formació objectiva i allunyada en la mesura del possible de tota mena de biaix.

2.2. Fiabilitat dels mètodes humans

Una eina habitualment emprada a l'hora de mesurar la precisió dels resultats d'un mètode humà és l'estudi de caixa negra. En un estudi d'aquestes característiques es mesura la precisió de les conclusions dels analistes sense tenir en compte com hi han arribat.

Seguint l'exemple de les empremtes dactilars, un estudi pioner d'aquest tipus és el descrit a l'article *The History and Legacy of the Latent Fingerprint Black Box Study* [9]. Aquest document descriu l'estudi de *caixa negra* publicat per l'FBI i Noblis⁸ el 2011 per avaluar la precisió i fiabilitat dels ana-

7. Poden existir altres maneres de descriure el resultat de la comparació. Per exemple, el resultat s'expressa en termes d'*individuació, exclusió o no conclouent*.

8. Noblis és una organització sense ànim de lucre dels Estats Units, dedicada a la ciència, tecnologia i estratègia per a entitats federals.

listes d'empremtes dactilars. Per a dur a terme l'experiment es van necessitar 169 analistes voluntaris, procedents de diverses agències vinculades a l'Estat i al personal del sector privat. Cada examinador va analitzar uns 100 parells d'empremtes (emprant la metodologia ACA-V) d'un total de 744 parelles possibles. En aquest experiment de caixa negra només es va considerar la conclusió de cada analista (sense tenir en compte, per tant, la seva formació, els equips emprats, l'experiència, els procediments normalitzats de treball, etc.). Tot i que no es detallarà, val a dir que el disseny de l'experiment era molt robust amb la finalitat d'evitar biaixos i poder obtenir resultats útils.

Els resultats van revelar sis falsos positius entre 4.083 comparacions d'empremtes dactilars que eren no coincidents, cosa que representa una taxa global de falsos positius (FP) del 0,1 %. Tenint en compte que un fals positiu (FP) és la pitjor situació que es pot donar en ciències forenses (podria comportar la condemna d'una persona innocent), el resultat és molt bo, ja que indica que aquesta disciplina forense tendeix a evitar incriminacions incorrectes.

L'estudi també va revelar una taxa de falsos negatius (FN) del 7,5 %, notablement superior a la de falsos positius. Hem de tenir en compte que, com ja s'ha observat, els analistes forenses solen ser molt prudents en les seves conclusions per a evitar identificar erròniament una persona com a culpable. Aquesta actitud conservadora pot portar-los a rebutjar coincidències vàlides si no n'estan absolutament segurs, incrementant així els falsos negatius. D'altra banda, el disseny de l'experiment incloïa diferents qualitats d'impressió (aquest factor té molta afectació en el resultat) i diferents nivells de dificultat en la comparació, la qual cosa pot haver fet dubtar molts analistes (tal com podria passar amb alguns assajos reals).

L'estudi va tenir un impacte determinant en el món forense i es va convertir en un referent científic i metodològic per a promoure estudis semblants en altres disciplines (roderes, calçat, escriptura manuscrita, etc.).

La conjunció entre el mètode ACA-V i els estudis de caixa negra ens poden resultar de molta utilitat a l'hora de validar un mètode humà en el nostre laboratori. A partir de la bibliografia existent relacionada amb una certa disciplina forense, podem valorar si les taxes d'error són les esperades en la disciplina forense i incorporar els resultats que hem obtingut a la validació del mètode. El coneixement dels paràmetres de la nostra metodologia és essencial a l'hora de defensar un informe pericial en seu judicial i, de fet, són qüestions que poden sorgir en el decurs de la declaració del pèrit.

Notem que a l'hora d'efectuar una validació del mètode també s'hauran d'incloure els estudis de repetibilitat i reproductibilitat. A més, si en la disciplina forense s'empen equips que generen mesures, també s'hauran de tenir en compte les incerteses d'aquest instrumental.

Els estudis de caixa negra reflecteixen molt bé el moment present de la metodologia amb l'equip analista que l'aplica, però desconexim de quina manera es poden projectar en el futur les taxes d'error recollides a la validació i

com pot afectar en el resultat el canvi de l'equip humà o de les tipologies de mostres que entren al laboratori. Per aquest motiu és molt important la realització periòdica de comparacions interlaboratorials (o intralaboratorials) que demostrin la fiabilitat dels resultats i la competència de l'equip humà per mitjà dels assajos d'aptitud. A més, també cal tenir present que diferents estudis de caixa negra poden obtenir diferents taxes d'error dins de la mateixa disciplina forense [12] (notem la gran importància de definir un disseny d'experiment correcte que, reculli, entre altres, tota la varietat de mostres susceptibles de ser analitzades i les diferents qualitats en què aquestes es poden presentar en un cas real).

A l'exemple de la figura 2 es pot veure una matriu de confusió fictícia similar a la que es podria obtenir en la validació d'un mètode d'una disciplina forense.

Total mostres = 230	Valors esperats (positius)	Valors esperats (negatius)
Valors obtinguts o predits (positius)	TP=87	FP=1
Valors obtinguts o predits (negatius)	FN=5	TN=137

FIGURA 2. Paràmetres de rendiment obtinguts en la validació d'un mètode. FONT: Elaboració pròpia.

En aquest cas s'hauria dut a terme una validació amb 230 mostres (cada mostra suposaria un assaig) i s'haurien obtingut els valors següents per a la taxa de falsos positius i falsos negatius, els quals s'incorporarien a la validació del mètode:

$$\text{Taxa FP} = \frac{FP}{TN + FP} = 0,007$$

$$\text{Taxa FN} = \frac{FN}{TP + FN} = 0,054$$

2.3. Expressió de resultats en informes pericials

En els apartats anteriors, s'ha descrit com es pot fer l'expressió de resultats en anàlisis comparatives d'empremtes dactilars. Ara bé, en altres tipologies d'estudis *avaluatius*, com es duria a terme? En moltes disciplines forenses l'expressió de resultats s'efectua en termes de *compatibilitat* (entre la mostra indubtable i la dubtable), o bé segons una escala verbal que, inherentment, no sap com quantificar la incertesa del resultat (per exemple: «Amb un grau d'incertesa mínim, les característiques analitzades coincideixen àmpliament»).

Tot i que un terme com *compatibilitat* és força lax, la veritat és que, com a mínim, no és una asseveració categòrica que afirmi que la mostra dubtable i la indubtable tenen un origen comú, amb exclusió segura de qualsevol altra font. Cal tenir present que el pèrit només és coneixedor de l'àmbit d'especialització de la seva disciplina forense, però en molts casos la prova no és única i un dictamen de com-

patibilitat pot ser molt útil per al jutge, el qual haurà de tenir en compte altres evidències en el context d'una investigació sovint molt complexa.

Pel que fa a l'exemple d'escala verbal que s'ha vist, certament, no és gaire afortunat, ja que, tot i reconèixer l'existència d'una incertesa, no és capaç de quantificar-la. Pot ser temptador afegir-hi, si es pot calcular, algun tipus de càlcul probabilístic que ajudi a mesurar el grau d'incertesa del resultat. La incorporació de probabilitats als resultats, però, provoca sovint malentesos i produeix fal·làcies ben conegudes.⁹ Aquest tipus de problemàtica és similar a la que es produeix quan, de vegades, alguns titulars de premsa incorporen dades estadístiques. Si, per exemple, enunciem aquest fet en relació amb els ingressos hospitalaris en un determinat moment de l'evolució de la pandèmia per COVID [11]: «El 60-70 % de les admissions hospitalàries i les morts són de persones que han rebut dues dosis de les vacunes», com s'ha d'interpretar? Si aquest fet fos una dada objectiva en un informe pericial, com ho entendria el jutge? Com li explicariem el resultat al jutge? (vegeu figura 3).

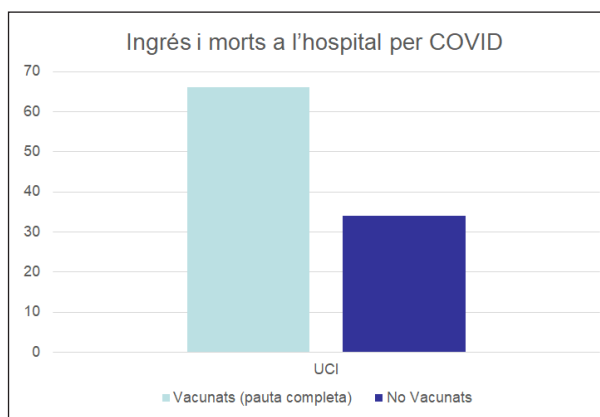


FIGURA 3. Percentatge d'admissions hospitalàries i morts per COVID. FONT: Elaboració pròpia.

La intuïció ens diu que, potser, les vacunes no han estat gens eficaces. Però és factible que sí que ho hagin estat i s'obtinguin aquestes dades? Notem que el gràfic de la figura 3 ens mostra la probabilitat que una persona que hagi estat ingressada a l'hospital tingui la pauta de vacunació sencera (dues dosis). Però això és el que realment volem saber? La dada que realment seria rellevant és conèixer *la probabilitat d'ingrés hospitalari, sabent que la persona tingui la pauta de vacunació sencera*.

La resposta es troba en les probabilitats condicionades i la fórmula de Bayes [10]. Les probabilitats condicionades representen la probabilitat que un esdeveniment es produeixi, donat que un altre esdeveniment ja ha tingut lloc. En aquest cas, tal com passa en l'àmbit judicial, és fàcil confondre la probabilitat que ens interessa amb la seva inversa i interpretar incorrectament els resultats.

9. Vegeu la fal·làcia del fiscal i la fal·làcia de l'observació del jurat a l'article «Derecho y probabilidad: falacias, fórmula de Bayes y redes bayesianas» [10].

Tot seguit es veurà amb un exemple [11] com, efectivament, és compatible una bona eficàcia de la vacuna amb les dades d'ingressos hospitalaris obtingudes. Suposem les dades següents:

- Hi ha 1.000 persones que si s'infecten tindran problemes prou greus per a anar a l'hospital.
- Suposem que de les 1.000 persones, 950 tenen la pauta sencera de vacunació i 50 no s'han vacunat.
- Les 50 persones no vacunades (recordem que pertanyen a la població que tindrà problemes greus si s'infecten) hauran d'ingressar a l'hospital.
- Sabem que la vacuna no és perfecta i que, per tant, tenir la pauta sencera no garanteix que la persona infectada no hagi d'ingressar a l'hospital. Suposem, però, que tenir la pauta de vacunació sencera redueix en un 90 % la probabilitat d'ingrés hospitalari. Com a resultat, 95 persones que disposen de la pauta sencera també hauran d'ingressar a l'hospital (vegeu figura 4).

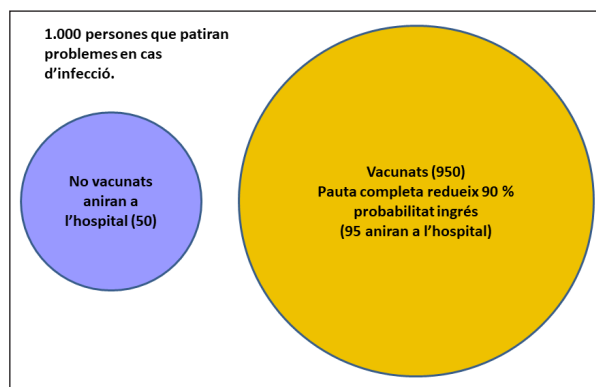


FIGURA 4. Exemple d'ingressos hospitalaris per la COVID en persones que patiran problemes en cas d'infecció segons si han rebut o no la pauta sencera de vacunació. FONT: Elaboració pròpia.

Fixem-nos que, seguint aquest exemple, les dues tercers parts dels hospitalitzats tenen la pauta sencera de vacunació,¹⁰ malgrat que si una persona té la pauta sencera i és vulnerable se li redueix la probabilitat d'ingrés en un 90 %. No és una vacuna perfecta, però la protecció que ofereix no és gens menyspreable!

La clau del problema resideix en el fet que la vacuna de la COVID va tenir una *cobertura molt gran*, alhora que es tracta d'una vacuna *imperfecta*. Amb una àmplia cobertura de vacunació (pràcticament la va rebre tothom), una baixa proporció de fracassos pot superar fàcilment el nombre de persones no vacunades, originant un titular (explicable i irrellevant) com el que hem reflectit a l'inici de l'exemple:

«El 60-70 % de les admissions hospitalàries i les morts són de persones que han rebut dues dosis de les vacunes».

Durant la declaració oral d'un pèrit en un judici, explicar un resultat complex com aquest seria realment difícil.

10. Aquest exemple s'explica en termes de notació matemàtica mitjançant el teorema de Bayes en [11].

És possible que el jutge i els altres actors que participen en el judici no disposin del bagatge matemàtic necessari per a entendre el resultat i les explicacions que els proporciona el pèrit. D'altra banda, també pot passar que el pèrit, encara que entengui el resultat, no el sàpiga transmetre adequadament enmig de la tensió que es viu durant el judici, o simplement que es confongui perquè l'explicació no és ni senzilla, ni molt menys intuïtiva.

3. Conclusions

En la primera part d'aquest article s'ha vist una definició intuïtiva del que s'anomena *metrologia forense* i el seu paper fonamental en l'avaluació crítica de les proves forenses analitzades en moltes disciplines criminalístiques.

L'article s'ha centrat en l'explicació del paradigma de la individualització i les crítiques que ha suscitat en el si de la comunitat científica, les quals han conduït a una millora de les metodologies emprades, així com a l'estudi de la seva fiabilitat. Finalment, també s'ha explicat la dificultat d'expressar els resultats d'un informe pericial de manera que sigui comprensible per al destinatari del document. A la segona part d'aquest article, es veurà un paradigma diferent, el de la versemblança, que si bé solucionarà part dels problemes introduïts en aquesta primera part, en suscitarà de nous.

Referències

- [1] ARQUÉS, J. M.; BLANQUEZ, M. «Informàtica forense i validació de mètodes». *Butlletí de la Secció Catalana de Metrologia* [en línia] [Barcelona: Institut d'Estudis Catalans], vol. 7 (abril 2024). <<https://publicacions.iec.cat/repository/pdf/00000490/00000069.pdf>> [Consulta: 26 setembre 2025]. ISSN 2696-001.
- [2] «Forensic metrology». A: *Wikipedia* [en línia]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Forensic_metrology> [Consulta: 26 setembre 2025].
- [3] VOSK, JD Ted. «Forensic metrology: Its importance and evolution in the United States». *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 772 (2016). DOI 10.1088/1742-6596/772/1/012018.
- [4] «Anexo I: Cuadros de cantidades de notoria importancia y dosis mínimas psicoactivas de las principales sustancias tóxicas objeto de tráfico de drogas, actualmente vigentes». A: *Informe de l'Instituto Nacional de Toxicología de data 18/10/2001* [en línia], actual. 2009. <<https://www.poderjudicial.es/cgpi/es/Poder-Judicial/Tribunal-Supremo/Actividad-del-TS/Estudios/Cuadros-de-cantidades-de-notoria-importancia-y-dosis-minimas-psicoactivas-de-las-principales-sustancias-toxicas-objeto-de-trafico-de-drogas--actualmente-vigente>> [Consulta: 26 setembre 2025].
- [5] ENFSI. *Guideline for evaluative reporting in forensic science* [en línia]. Versió 3. European Network of Forensic Science Institutes, 2015. <https://enfsi.eu/wp-content/uploads/2016/09/m1_guideline.pdf> [Consulta: 26 setembre 2025].
- [6] GASCÓN ABELLÁN, M. *Pruebas científicas: medidas necesarias para su valoración racional en el proceso. Trabajo elaborado para el curso on-line sobre interpretación de la prueba científica promovido por el Dpto. de Lógica, Historia y Filosofía de la UNED*. Universitat de Castella-la Manxa, [s. a.].
- [7] ENFSI *Guidelines for the single laboratory Validation of Instrumental and Human Based Methods in Forensic Science*. Versió 2. Standing Committee for Quality and Competence (QCC), 2014. <<https://enfsi.eu/wp-content/uploads/2017/06/Guidance-QCC-VAL-002.pdf>> [Consulta: 26 setembre 2025].
- [8] TABERNER ARROYO, P. «El estudio de las huellas dactilares en la escena del delito, métodos de revelado e informe pericial». *Gaceta internacional ciencias forenses*, núm. 54 (gener-març 2025). ISSN 2174-9019.
- [9] DUTTON, G., ZARWELL, L. «The history and legacy of the latent fingerprint black box study». *National Institute of Justice* [en línia] (19 setembre 2022). <<https://nij.ojp.gov/topics/articles/history-and-legacy-latent-fingerprint-black-box-study>> [Consulta: 26 setembre 2025].
- [10] DELGADO, R. «Derecho y probabilidad: falacias, fórmula de Bayes y redes bayesianas». *Materials Matemàtics* [en línia] [Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Matemàtiques], núm. 6 (2013), 31 p. ISSN: 1887-1097.
- [11] MASTERS, A. *Conditional probabilities and imperfect vaccines. Why is it plausible most future Covid-19 hospitalisations are among those vaccinated?* [en línia], [s. a.]. [Consulta: 21 abril 2022].
- [12] PRESIDENT'S COUNCIL OF ADVISORS ON SCIENCE AND TECHNOLOGY (PCAST). *Forensic science in criminal courts: Ensuring scientific validity of feature-comparison methods*. Informe del PCAST. Washington, DC: Executive Office of the President, 2016.

MAGNITUDS ADIMENSIONALS I DE DIMENSIÓ U

Albert Garcia-Benadí

SARTI, Universitat Politècnica de Catalunya

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5560-4392>

En el camp de les matemàtiques, qualsevol nombre, real o no, no té per què disposar d'unitats, però en física i, sobretot, en metrologia sí que és imprescindible. Posem per cas que un corredor està competint en una cursa i ja està molt cansat, i li pregunta a una persona de l'àrea d'aviuallament quant falta per a l'arribada, i la resposta és 5. El corredor no sap si són 5 metres, 5 kilòmetres o 5 hectòmetres. Aquí resideix la importància de les unitats de mesura. Cal recordar que només hi ha set unitats bàsiques, especificades en el sistema internacional d'unitats (SI)[1], però en aquest article no abordarem aquest tema tan interessant.

Nosaltres parlarem dels adimensionals, però que vol dir *adimensional*? La resposta és senzilla: 'que no té cap unitat de mesura associada', per exemple, el que comentàvem dels nombres en matemàtiques, tots són adimensionals. Però, aleshores, quina és la diferència entre un paràmetre adimensional i un de dimensió *u*? La diferència és que quan indiquem que el paràmetre té dimensió *u*, ja diem que és un paràmetre obtingut d'un quocient d'unitats, que es cancel·len. Per a fer-ho més entenedor, partim d'un paràmetre *Q*, que segueix l'equació:

$$\dim Q = T^\alpha \Gamma^\beta \Theta^\epsilon \dots$$

Veiem que *Q* es defineix per un producte de diversos paràmetres amb exponent, per tant, dimensionals, però ens trobem en el cas en què en fer els productes, la dimensió de *Q* és igual a zero. Per a entendre millor aquest concepte, podem pensar en l'exemple de l'índex de refracció d'un medi, que es defineix com el quocient entre dues velocitats i la permitivitat relativa, com el quocient entre la permitivitat d'un medi elèctric i la del buit. Com que les dimensions, o sigui les unitats, es cancel·len, aquestes magnituds són simplement nombres. La unitat associada és la unitat *u*, amb símbol 1, tot i que la unitat *u* rarament s'escriu explícitament.

Però no pensem únicament en unitats de mesura del SI, ja que també hi existeixen magnituds que no poden ser descrites mitjançant les set magnituds bàsiques del sistema internacional, però el valor de les quals es mesura per recompte. Per exemple, el nombre de molècules, d'entitats cel·lulars o bimoleculars (com ara les còpies d'una seqüència particular d'àcid nucleic) o la degeneració en mecànica

quàntica. Aquestes magnituds també tenen com a unitat el nombre *u*.

La unitat *u* és necessàriament l'element neutre de qualsevol sistema d'unitats; hi és automàticament present. No hi ha la necessitat d'introduir la unitat *u* al SI mitjançant una decisió formal. Així doncs, es pot establir la traçabilitat formal al SI mitjançant procediments de mesura adequats i validats.

Cal assenyalar que quan un paràmetre és el resultat del quocient entre dos paràmetres de la mateixa magnitud (magnituds de longitud, fraccions molars, etc.) es poden expressar amb unitats (m/m, mol/mol) per tal de facilitar la comprensió de la magnitud expressada i per tal de permetre l'ús de prefixos inclosos dins el SI, si es prefereix ($\mu\text{m}/\text{m}$, nmol/mol). Això no és possible amb les magnituds de recompte que són simplement nombres.

El símbol % (per cent), reconegut internacionalment, es pot usar amb el SI. Quan s'utilitza, convé deixar un espai entre el nombre i el símbol %. És preferible emprar el símbol % en comptes de l'expressió *per cent*. En un text, el símbol % en general significa 'parts per cent'. No s'han de fer servir expressions com ara *percentatge de massa*, *percentatge de volum*, *percentatge de quantitat de substància*. La informació addicional sobre la magnitud en qüestió s'ha de proporcionar mitjançant el nom i el símbol de la magnitud.

També s'utilitza el terme *part per milió* (abreviatura ppm), que significa 10^{-6} en valor relatiu, 1×10^{-6} . L'expressió és anàloga a *per cent* amb el sentit de 'parts per cent'. Els termes *part per bilió* i *part per trilió* i les seves abreviatures respectives ppb i ppt també es fan servir, però, com que el seu significat varia segons la llengua, és preferible evitar-los.

Algunes d'aquestes magnituds de dimensió *u* més utilitzades són els angles plans i els angles sòlids, la definició de les quals és:

- L'angle pla entre dues línies que tenen l'origen en un punt comú és igual a la longitud de l'arc de circumferència *s* que recorre entre aquestes línies un radi vector de longitud *r* des del punt comú, dividit entre la longitud del radi vector, $\theta = s/r$ rad. L'angle de fase (habitualment anomenat *fase*) és l'argument de qualsevol nombre complex. És l'angle entre l'eix real po-

sitiu i el radi de la representació polar del nombre complex al pla complex.

- L'angle sòlid correspon al quocient entre l'àrea A de la superfície d'una esfera de radi r i el radi al quadrat, $\Omega = \frac{A}{r^2}$ sr.

Veiem, doncs, que aquesta magnitud també és de dimensió u, però a nosaltres sempre ens han parlat de *graus*, *radians* i *estereoradians*... Com és això? La resposta la podem trobar en la decisió de l'11a Conferència General de Pesos i Mesures (CGPM) que va adoptar el SI el 1960,¹ on es van crear unitats suplementàries, ja que s'utilitzaven molt. S'hi van incloure els radian i l'estereoradian, en què un radian correspon a l'angle pel qual $s = r$; així, 1 rad = 1. La mesura de l'angle recte és exactament igual al nombre $\pi/2$. El grau és una convenció històrica. La conversió entre radians i graus prové de la relació $360^\circ = 2\pi$ rad. Cal remarcar que el grau, amb símbol $^\circ$, no és una unitat del SI. I un estereoradian correspon a l'angle sòlid per al qual $A = r^2$; així, 1 sr = 1.

Per tant, malgrat que són magnituds de dimensió u, disposen d'una unitat derivada del SI per a l'angle pla i l'angle

de fase: és el radian, amb símbol rad. La de l'angle sòlid és l'estereoradian, amb símbol sr. Aquesta decisió va canviar el 1995 en què a la 20a CGPM² ja es va decidir donar entitat pròpia al rad i sr.

Cal assenyalar que les unitats rad i sr corresponen, respectivament, als quocients entre dues longituds i dues longituds al quadrat. Tot i això, les unitats rad i sr només s'han de fer servir per a expressar angles i angles sòlids, i no per a expressar quocients entre longituds o longituds al quadrat en general.

Amb aquest article volem fer palès la importància de conèixer les unitats, així com la seva absència, i no menysprear-les per aquest motiu.

Referències

- [1] OFICINA INTERNACIONAL DE PESOS I MESURES (BIPM). *El Sistema Internacional d'Unitats (SI)*. 9a edició. [Barcelona: Institut d'Estudis Catalans], 2019. DOI: 10.2436/10.2001.02.1.

1. Quan l'11a CGPM va adoptar el SI el 1960, es va crear la categoria unitats suplementàries per tal d'incloure-hi el radian i l'estereoradian.

2. A la 20a CGPM (1995) es va decidir: 1) «interpretar les unitats suplementàries al SI, és a dir, el radian i l'estereoradian, com a unitats derivades adimensionals, els noms i símbols de les quals es poden, però no necessàriament, usar en les expressions d'altres unitats derivades del SI, segons convingui» i 2) suprimir la classe independent dins el SI de les unitats suplementàries.

TRADUCCIONS DELS EXEMPLES DE L'EA-04/02 (EXEMPLE S9)

José Sánchez González

Vocal de la Secció Catalana de Metrologia

En el BUTLLETÍ anirem traduïnt, en diverses entregues, els diferents exemples de l'EA-4/02 M: 2022 de l'avaluació de la incertesa de mesura en el calibratge. La versió oficial d'aquest document, però, és l'anglesa, que es pot consultar en aquest [enllaç](#) de la European co-operation for Accreditation (EA).

El segon exemple traduït en el BUTLLETÍ correspon al calibratge d'un multímetre digital de mà a 100 V en continu, que correspon a l'apartat S9.

S9. CALIBRATGE D'UN MULTÍMETRE DIGITAL DE MÀ A 100 V DC

S9.1 Com a part d'un calibratge general, un multímetre digital de mà (DMM) es calibra a una entrada de 100 V DC utilitzant un calibrador multifunció com a patró de treball. S'usa el procediment de mesura següent:

1. Els borns de sortida del calibrador estan connectats als borns d'entrada del DMM mitjançant cables de mesura adequats.
2. El calibrador es col·loca a la seva configuració de 100 V i, després d'un període d'estabilització adequat, s'anota la lectura DMM.
3. L'error d'indicació del DMM es calcula utilitzant les lectures DMM i la configuració del calibrador.

S9.2 Cal tenir en compte que l'error d'indicació del DMM que s'obté mitjançant aquest procediment de mesura inclou tant l'efecte de la compensació com les desviacions de linealitat.

S9.3 L'error d'indicació E_X del DMM a calibrar s'obté de

$$E_X = V_{iX} - V_S + \delta V_{iX} - \delta V_S \quad (\text{S9.1})$$

on

V_{iX} és la tensió indicada pel DMM (índex i significa indicació),

V_S és la tensió generada pel calibrador,

δV_{iX} és la correcció de la tensió indicada a causa de la resolució finita del DMM,

δV_S és la correcció de la tensió del calibrador a causa de

1. la deriva des del seu últim calibratge,

2. les desviacions resultants de l'efecte combinat de la compensació, la no linealitat i les diferències de guany,
3. les desviacions en la temperatura ambient,
4. les desviacions en la potència de la xarxa i
5. els efectes de càrrega resultants de la resistència finita d'entrada del DMM a calibrar.

S9.4 A causa de la resolució limitada de la indicació del DMM, no s'observa cap dispersió en els valors indicats.

S9.5 Lectures DMM (V_{iX})

El DMM indica la tensió 100,1 V a la configuració del calibrador 100 V. Se suposa que la lectura del DMM és exacta (vegeu S9.4).

S9.6 Patró de treball (V_S)

El certificat de calibratge per al calibrador multifunció estableix que el voltatge generat és el valor indicat per la configuració del calibrador i que la incertesa relativa expandida associada de mesura és $W = 0,000\ 02$ (factor de cobertura $k = 2$), resultant en una incertesa expandida de mesura associada amb la configuració de 100 V de $U = 0,002\ \text{V}$ (factor de cobertura $k = 2$).

S9.7 Resolució de DMM a calibrar (δV_{iX})

El dígit menys significatiu de la pantalla DMM correspon a 0,1 V. Cada lectura DMM té una correcció deguda a la resolució finita de la pantalla que s'estima en 0,0 V amb límits de $\pm 0,05\ \text{V}$ (és a dir, la meitat de la magnitud del dígit menys significatiu).

S9.8 Altres correccions (δV_S)

Atès que no es disposa de xifres individuals, la incertesa de mesura associada a les diferents fonts es deriva de

l'especificació de precisió donada pel fabricant del calibrador. Aquestes especificacions estableixen que el voltatge generat pel calibrador coincideix amb la configuració del calibrador dins de $\pm (0,0001 \times V_S + 1 \text{ mV})^1$ en les condicions de mesura:

1. La temperatura ambient es troba dins del rang de 18 °C a 23 °C.
2. La tensió de xarxa que alimenta el calibrador es troba en el rang de 210 V a 250 V.
3. La càrrega resistiva en els terminals del calibrador és superior a 100 kΩ.
4. El calibrador s'ha calibrat en l'últim any.

Atès que es compleixen aquestes condicions de mesura i l'historial de calibratge del calibrador mostra que es pot confiar en l'especificació del fabricant, se suposa que la correcció que s'aplicarà al voltatge generat pel calibrador és de 0,0 V dins de $\pm 0,011 \text{ V}$.

S9.9 Correlació

Cap de les quantitats d'entrada es considera correlacionada en una mesura significativa.

S9.10 Balanç d'incertesa (E_X)

A tall d'exemple es mostra la taula 1, on es detalla el balanç d'incertesa amb unes dades orientatives tal com es mostra en el [document](#).

TAULA 1: Taula amb el balanç d'incertesa, on es detallen uns valors orientatius, típics del calibratge d'un multímetre de mà per la tensió de 100 V.

Magnitud	Estimat	Incertesa típica $u(x_i)$	Distribució de probabilitat	Coefficient de sensibilitat c_i	Contribució a la incertesa $u_i(y)$
X_i	x_i				
V_{ix}	100,1 V	—	—		—
V_S	100,0 V	0,001 V	normal	-1,0	-0,001 V
δV_{ix}	0,0 V	0,029 V	rectangular	1,0	0,029 V
δV_S	0,0 V	0,0064 V	rectangular	-1,0	-0,0064 V
E_X	0,1 V				0,030 V

S9.11 Incertesa eixamplada

La incertesa típica de mesura associada al resultat està clarament dominada per l'efecte de la resolució finita del DMM. La distribució final no és normal sinó essencialment

1. Un mètode àmpliament utilitzat per a presentar l'especificació de precisió dels instruments de mesura en fulls de dades o manuals consisteix a donar els límits d'especificació en termes de «configuració». Per al calibrador, l'enunciat seria $\pm (0,01 \%$ de configuració + 1 mV). Encara que es consideri que aquest mètode és equivalent a l'expressió anterior, no s'utilitza aquí perquè pot induir a error en molts casos i perquè no representa una equació de magnituds físiques en la nomenclatura simbòlica acceptada internacionalment.

rectangular. Per tant, no és aplicable el mètode de graus efectius de llibertat descrit a l'annex E de l'EA-4/02. El factor de cobertura apropiat per a una distribució rectangular es calcula a partir de la relació donada en eq. (S9.8) en la nota matemàtica S9.14.

$$U = k \cdot u(E_X) = 1,65 \times 0,030 \text{ V} \cong 0,05 \text{ V}$$

S9.12 Resultat reportat

L'error mesurat d'indicació del voltímetre digital de mà a 100 V és $(0,10 \pm 0,05) \text{ V}$.

La incertesa eixamplada de mesura reportada és la incertesa típica de mesura multiplicada pel factor de cobertura $k = 1,65$ que s'ha derivat de la distribució de probabilitat rectangular assumida per a una probabilitat de cobertura del 95 %.

S9.13 Comentari addicional

El mètode utilitzat per a calcular el factor de cobertura està clarament relacionat amb el fet que la incertesa de mesura associada al resultat està dominada per l'efecte de la resolució finita del DMM. Això serà cert per al calibratge de tots els instruments d'indicació de baixa resolució, sempre que la resolució finita sigui l'única font dominant en el balanç d'incertesa.

S9.14 Nota matemàtica

Si la situació de mesura és tal que una de les aportacions d'incertesa del pressupost es pot identificar com un terme dominant, per exemple el terme amb índex 1, la incertesa estàndard que s'ha d'associar al resultat de la mesura y es pot escriure com

$$u(y) = \sqrt{u_1^2(y) + u_R^2(y)} \quad (\text{S9.2})$$

on

$$u_R(y) = \sqrt{\sum_{i=2}^N u_i^2(y)} \quad (\text{S9.3})$$

denota la contribució a la incertesa total dels termes no dominants. Sempre que la relació entre la contribució de la incertesa total $u_R(y)$ dels termes no dominants a la contribució a la incertesa $u_1(y)$ del terme dominant no sigui superior a 0,3, eq. (S9.2) es pot aproximar per

$$u(y) \cong u_1(y) \cdot \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{u_R(y)}{u_1(y)} \right)^2 \right] \quad (\text{S9.4})$$

L'error relatiu d'aproximació és menor que 1×10^{-3} . La variació relativa màxima de la incertesa típica resultant del factor entre parèntesis en eq. (S9.4) no és superior al 5 %. Aquest valor està dins de la tolerància acceptada per a l'arrodoniment matemàtic dels valors d'incertesa.

Sota aquests supòsits, la distribució de valors que raonablement es podria atribuir a la mesura és essencialment

idèntica a la distribució resultant de la contribució dominant coneguda. A partir d'aquesta densitat de distribució $\varphi(y)$ la probabilitat de cobertura p es pot determinar per a qualsevol valor de la incertesa de mesura expandida U per la relació integral

$$p(U) = \int_{y-U}^{y+U} \varphi(y') dy'. \quad (S9.5)$$

Invertint aquesta relació per a una probabilitat de cobertura donada, s'obté la relació entre la incertesa de mesura ampliada i la probabilitat de cobertura $U = U(p)$ per a la densitat de distribució donada $\varphi(y)$. Utilitzant aquesta relació, el factor de cobertura es pot expressar finalment com

$$k(p) = \frac{U(p)}{U(y)}. \quad (S9.6)$$

En el cas del voltímetre digital de mà, la contribució d'incertesa dominant resultant de la resolució finita de la indicació és $u_{\delta V_X}(E_X) = 0,029 \text{ V}$, mentre la contribució a

la incertesa total dels termes no dominants és $u_R(E_X) = 0,065 \text{ V}$. La relació rellevant és $u_R(E_X)/u_{\delta V_X}(E_X) = 0,22$. Així, la distribució resultant de valors que raonablement es poden atribuir com a errors d'indicacions és essencialment rectangular. La probabilitat de cobertura d'una distribució rectangular està linealment relacionada amb la incertesa de mesura expandida (sent a la semiamplada de la distribució rectangular)

$$p = \frac{U}{a}. \quad (S9.7)$$

Resolent aquesta relació per a la incertesa expandida de mesura U i inserint el resultat juntament amb l'expressió de la incertesa típica de mesura relacionada amb una distribució rectangular donada per eq. (3.8) d'EA-4/02 finalment s'obté la relació

$$k(p) = p\sqrt{3} \quad (S9.8)$$

Per a una probabilitat de cobertura $p = 95 \%$ aplicable a l'EA, el factor de cobertura rellevant és, per tant, $k = 1,65$.