

UN PASSEIG PER LA HISTÒRIA DEL SISTEMA MÈTRIC DECIMAL I DEL CALENDARI

Cicle "*Matemàtiques a la vida quotidiana*"

Càtedra "*Lluís Santaló*" de la Universitat de Girona

i

Fundació "*Casa de Cultura*" de Girona

Girona, 10 de maig de 2007

Anton Aubanell Pou

En primer lloc voldria agrair la invitació al professor Carles Barceló, a la Càtedra "*Lluís Santaló*" de la Universitat de Girona i a la Fundació "*Casa de Cultura*" de Girona que han organitzat aquest acte.

INTRODUCCIÓ

A vegades sentim la pregunta: Per què serveixen les matemàtiques? I és que sovint sembla que les matemàtiques tan sols visquin a l'escola, en aquest ecosistema que anomenem pissarra, i que serveixin únicament per a complicar la vida als nostres estudiants. El fet és que, igual que els fonaments de les cases, precisament per la funció que fan, han d'estar ocults als fons del terra, les matemàtiques representen un tipus de coneixement tan *fonamental* que queda ocult en les bases teòriques més profundes sobre les que se sustenten molts dels elements que ens envolten i que fan més fàcil la nostra vida. Per això és tan interessant un cicle sobre "*Matemàtiques a la vida quotidiana*".

Hi ha coses que ens resulten tan familiars, tan habituals... que no els hi donem importància, com si haguessin existit sempre, com si no hagués costat temps i esforç d'assolir-les!. Permeteu-me que n'esmenti tres de relacionades amb les matemàtiques: el sistema de numeració posicional, el calendari i el Sistema Internacional d'unitats.

Es tracta de tres eines genials per situar-nos en el món que ens envolta. Fem l'exercici d'imaginar-nos un món.....

.....amb quantitats però sense nombres.

.....amb temps però sense rellotges ni calendaris.

.....amb magnituds però sense mesures.

Els nostres avantpassats varen tenir que fer un camí difícil per situar-se en el temps i l'espai; per entendre, descriure i preveure el món i els seus fenòmens! I encara queda molt de camí per recórrer! Tanmateix, de tant en tant, és bo mirar enrera per fer un petit homenatge, des del senzill record, als homes i dones que han fet possible que el nostre món sigui com és per tal que el temps no esborri l'empremta del seu esforç i sigui estímul per anar més endavant. Avui ens aturarem una mica en el calendari i en el Sistema Mètric Decimal, antecessor immediat del Sistema Internacional d'unitats.

EL CALENDARI

Ara sabem que la durada real d'un any és de 365.24219 dies (any tropical) però els nostres avantpassats varen tenir molta feina en ajustar progressivament l'any civil, usat a efectes d'organització social, a l'any real. Es tracta d'una aventura a la que us convido a fer-hi un cop d'ull!

Cal assenyalar que actualment, en el món, hi ha 16 calendaris diferents que permeten celebrar l'any nou varies vegades cada l'any. Però pràcticament en tots els casos el seu ús es fa en paral·lel a l'ús del calendari anomenat gregorià.

Des de sempre el pas del temps s'ha associat amb la successió de fenòmens astronòmics: equinoccis, solsticis, llunacions, aparició de determinats estels en un punt concret del cel, etc.

Un any no té un nombre enter de dies (365.24219 dies), ni un cicle lunar tampoc (29.53058 dies), de manera que els ajustaments, si prenem com a unitat el dia (i això sembla natural!), són qüestió de decimals per excés o per defecte. Per acabar-ho d'embolicar, un any tampoc té un nombre enter de cicles lunars: si "les llunes" fessin una carrera de relleus contra el sol resultaria que, per tornar a estar aproximadament en la posició inicial, haurien de passar 19 anys solars o 235 llunacions. Aquest període de temps ja havia estat observat pels grecs (433 aC) que l'anomenaven cicle de Metó. És un exponent del difícil matrimoni entre el sol i la lluna que ha deixat el seu rastre en les diferències entre calendaris solars i calendaris lunars. Fins i tot les nostres vacances pateixen les conseqüències d'aquestes desavinences de parella! L'any 325 el concili de Nicea fixà la Pasqua al primer diumenge després de la primera lluna plena posterior a l'equinocci de primavera (21 de març). Com que l'any no té un nombre enter de llunacions, les llunes plenes no es produeixen en les mateixes dates cada any i, per tant, la Setmana Santa es mou d'un any a un altre.

Però no correm tant! La història del nostre calendari bé de molt lluny!

Els egipcis ja tenien un calendari de 365 dies. Permeteu-me una curiositat arqueològica relacionada amb aquest tema que em varen explicar en el Museu Egipci de Barcelona. A les tombes egípcies hi posaven unes caixetes amb 365 petites figures que anomenaven "*uixebti*" (terme que significa "*el que respon*"). Això assegurava una vida millor al difunt quan estigués a l'altre món ja que, quan tingués que fer algun treball, cridava a un *uixebti* que responia fent-li la feina. Com que en tenia un per a cada dia de l'any, el difunt no havia de treballar cap dia i podia descansar en pau.

El calendari romà antic era bastant primitiu. Tenia tan sols 10 mesos i un bloc de dies al final de l'any. Alguns dels mesos tenien nom propi que feia referència a divinitats i que han donat origen als noms dels nostres mesos:

Martius (març): Era el primer mes de l'antic calendari romà. Estava consagrat al déu de la guerra, Mart.

Aprilis (abril): Probablement el seu nom procedeix del senglar (*aper*), venerat pels romans.

Maius (maig): Dedicat a Maia, una de les Plèiades.

Junius (juny): Possiblement deu el seu nom a la deessa Juno, muller de Júpiter.

Els altres mesos inicialment rebien el nom derivat del seu ordre: *quintilis* (el cinquè mes, acabarà essent juliol), *sextilis* (el sisè mes, acabarà essent agost), *september* (el setè mes), *october* (*octo* és vuit), *november* (*novem* és nou), *december* (*decem* és deu).

Uns 700 anys abans de Crist, Numa Pompili va organitzar el bloc de dies que quedaven al final de l'any en dos mesos (així varen arribar a ser 12) el darrer dels quals era dedicat a ritus purificatoris que s'anomenaven les *februalia* (*februare* = purificar). D'aquí ve el nom del nostre febrer, llavors darrer mes de l'any.

A l'any 46 aC Juli Cèsar, amb l'assessorament de l'astrònom Sosígenes, estableix diversos canvis:

- Es fixa el principi de l'any a l'1 de gener (*januarius*), aproximant-lo al solstici d'hivern.
- S'estableix la durada dels mesos alternant 31 i 30 dies. Excepte el mes de febrer que, els anys normals, es deixa en 29 dies.
- Cada 4 anys s'intercala un any de traspàs en el qual s'afegeix un dia al mes de febrer (que queda en 30). La nomenclatura romana per indicar les dates es basava en tres dates especials: les *kalendas* (dia 1 del mes), les *nonas* (dia 5 o dia 7 del mes) i els *idus* (dia 13 o dia 15 del mes). Les altres dates rebien el nom comptant els dies que faltaven fins a la propera data especial. Així, per exemple, el dia 24 de febrer era el "*sexto die ante kalendas Martias*". El dia que s'afegia al mes de febrer en els anys de traspàs s'intercalava entre el 24 i el 25 i no se li donava número propi sinó un "24 bis" (com els números d'algunes cases dels nostres carrers). Així era el "*bis sexto die ante kalendas Martias*". D'aquí venen les paraules "bixest", en català, i "bisiesto", en castellà.

L'any 44 aC el senat romà decideix posar al mes *quintilis* el nom de *julius* en honor a Juli Cèsar que hi havia nascut. A l'any 8 aC es canvia el nom del mes *sextilis* pel d'*august* en honor a Cèsar August. Això plantejava dos problemes:

- Una qüestió de protocol: Com podia ser que *julius* tingués 31 dies i *august* tan sols en tingués 30? La solució va ser fàcil: afegir un dia a

august i treure'l, naturalment, de *februarius*, víctima de tots els canvis pel fet que havia estat el darrer mes... i de purificació!

- Per altra part apareixien tres mesos seguits amb 31 dies (*julius*, *august* i *september*). Això es va solucionar traient un dia de *september* per passar-lo a *october* i traient un dia de *november* per passar-lo a *december*.

Així fou com varen quedar establerts els dies dels mesos de l'any! Però l'evolució del calendari no s'acaba aquí!

El calendari julià avançava en excés 3 dies cada 400 anys (11 minuts i 14 segons per any). En el segle XVI aquesta separació sumava ja 10 dies. Per això es va reformar el calendari establint-se l'anomenat calendari gregorià que és el que avui utilitzem. El calendari gregorià va ser instituït pel papa Gregori XIII a l'any 1582 després que una comissió presidida pel jesuïta Christopher Schüssel (Clavius) ho estudiés. Destaquen dos canvis:

- Manté com a anys de traspàs els múltiples de 4 però en treu 3 cada 400 anys. Deixen de ser de traspàs els anys que siguin múltiples de 100 però no ho siguin de 400.
- Elimina els deu dies de retard que s'havien acumulat des de la promulgació del calendari julià: el dijous 4 d'octubre de 1582 (data juliana) va ser seguit pel divendres 15 d'octubre de 1582 (data gregoriana) a Espanya, Itàlia, França i Portugal. Progressivament altres estats s'hi varen anar adaptant, Anglaterra al 1752, Finlàndia al 1918, Turquia: 1926, etc. Això ha portat curioses anècdotes:
 - Santa Teresa d'Àvila va morir el dijous 4 d'octubre de 1582 i va ser enterrada l'endemà divendres 15 d'octubre. Els 10 dies intermedis varen ser eliminats pel calendari gregorià. La festa de Santa Teresa se celebra el 15 d'octubre.
 - Rússia no va acceptar la reforma del calendari gregorià fins l'arribada dels soviets. L'adopció del nou calendari es va fer de manera que l'1 de febrer de 1918 va passar a ser el dia 14 de febrer. Es dona el cas curiós que l'anomenada "*Revolució d'Octubre*", a l'antiga URSS, se celebrava a Novembre. Això era degut a què la revolució havia tingut lloc el 25 / 26 d'octubre de 1917, segons el calendari julià vigent a la Rússia tsarista, data que, quan el nou règim va adoptar el calendari gregorià, va anar a caure el 7 / 8 de novembre. Des de llavors, l'aniversari de la revolució sempre es va celebrar a novembre i, fins i tot, a vegades es parla de la "*Revolució de Novembre*".
 - Shakespeare i Cervantes varen morir en la mateixa data, el 23 d'abril de 1616, però no el mateix dia. Cervantes va morir el 23 d'abril de 1616 segons el calendari gregorià vigent a Espanya des del 1582. Shakespeare va morir el 23 d'abril de 1616 segons el calendari julià vigent a Anglaterra fins al 1752.

EL SISTEMA MÈTRIC DECIMAL / SISTEMA INTERNACIONAL

Motivació

El 10 de desembre de 1999 va fer 200 anys que s'establia a França el Sistema Mètric Decimal. Avui sembla del tot normal parlar de metres, de quilòmetres o de centímetres i donem per suposat que tothom ens entén però la gènesi del metre, impulsada per les idees unificadores de la Revolució Francesa, va constituir una formidable aventura científica de la qual el nostre territori va ser protagonista destacat. No fou una empresa fàcil! Un grapat de científics, especialment astrònoms i matemàtics, varen esmerçar-hi, amb il·lusió, els millors anys de la seves vides. Els seus noms quasi estan oblidats, la seva obra, en canvi, forma part de la nostra vida de cada dia.

El 10 de desembre de 1799 França, en un dels primers decrets signats per Napoleó, adoptava el metre com a unitat de mesura. A Espanya la reina Isabel II va decretar, a l'any 1849, com obligatori l'ús del Sistema Mètric Decimal (SMD) a partir del gener de 1860, però de fet es va anar ajornant fins al 1880. A l'any 1867 el Círculo Mercantil de Barcelona es queixava de què sols l'usaven els ferrocarrils.

De fet, encara ara, el camí de l'adopció del Sistema Internacional d'unitats no està conclòs! Permeteu-me que ho il·lustri recordant una notícia relativament recent. El dia 23 de setembre de 1999, després d'un llarg viatge de 286 dies, la NASA va perdre la sonda *Mars Climate Orbiter* per una errada deguda a la manca d'unificació de les mesures. Una maniobra vital va ser calculada amb dos sistemes d'unitats diferents: el Sistema Internacional (quilòmetres i grams) i el Sistema Anglosaxó (milles i lliures). Havia de situar-se a uns 140 Km d'altura sobre Mart i es va situar a 60. El límit de supervivència era de 86 Km.

Potser quan millor copsem el valor de les coses és quan contemplem situacions on no existeixen! Per això serà bo fer, d'entrada, una ullada a les unitats de mesura emprades abans de l'establiment del SMD.

Unitats de mesura antigues

Les primeres mesures de longitud varen ser atropomòrfiques: *braça, colze, pam, dit, peu, pas...* Potser per allò que l'home és la mesura del seu món!

En general les unitats de mesura variaven molt segons la regió, la comarca i, fins i tot, la població. A l'entrada d'algunes ciutats s'indicaven les mesures d'utilització dins de l'àmbit de la ciutat. Així, per exemple, a la muralla de Barcelona hi havia una porta que s'anomenava Porta Ferriça (d'on deriva el nom de l'actual carrer) degut al fet que prop d'ella s'hi col·locaven uns patrons de ferro indicant les unitats de mesura de longitud oficials dins de la ciutat.

Aquesta diversitat, sovint a gust de reis o senyors, dificultava l'intercanvi comercial i, en alguns casos, era font d'abusos i malentesos. La *lliura* n'és un

bon exemple! Abans de l'establiment del SMD, a Europa s'havien detectat 391 *lliures* diferents. La seva magnitud variava segons el que es volgués mesurar. Així, en general, 1 *lliura* equivalia a 12 *unces* (1 *unça* = 25 g o 33,3 g), però 1 *lliura de peix fresc* equivalia a 30 *unces* (degut a l'aigua?) i una 1 *lliura carnissera* equivalia a 36 *unces* (degut a l'os?).

Alguns gremis també tenien patrons de mesura específics:

En joieria utilitzaven el *quirat* (0.232 g).

Els vinaters utilitzaven mesures especials per al vi:

1 *càrrega* = 2 *bots*.

1 *bot* = 4 *mallals*.

1 *mallal* = 16 *porrons*.

En farmàcia utilitzaven l'*escrúpol* (0,925 g) i el *dragma* (2,778 g).

Els sabaters utilitzaven el *punt* (0,666 cm). Per exemple, la sabata de l'estàtua de Colom a Barcelona, té 168 *punts* (1,12 metres).

La *llegua* era una mesura de longitud molt utilitzada –per exemple, a l'obra *Don Quijote de la Mancha* apareix 64 vegades– i molt variable segons la regió:

Llegua catalana	6.718 m
Llegua comú a Espanya	5.572 m
Llegua argentina	5.820 m
Llegua reial	6.965 m
Llegua suïssa	4.800 m
Llegua portuguesa	6.197 m
Llegua francesa	3.898 m
Llegua de Brasil	6.173 m
Llegua de 25 al grau	4.444 m
Llegua marina de 20 al grau	5.556 m
Llegua de 15 al grau	7.407 m

Aquestes tres últimes *llegües* fan referència al fet que en un arc de 1° sobre un meridià n'hi caben 25, 20 o 15 respectivament. A partir d'aquest fet i sabent que un quadrant de meridià té 10.000.000 m, poden comprovar-se les equivalències indicades. Observem que si definíssim de la mateixa manera una "*Llegua de 60 al grau*", equivaldria a 1.852 m. Es tractaria de la *milla nàutica* anglosaxona. El *nus*, tan utilitzat en nàutica, és la velocitat d'una *milla* per hora. Permeteu-me una referència cinematogràfica i una altra de literària:

- Hi ha una seqüència de la pel·lícula "*Titànic*" on el capità diu "*Proa a alta mar. Que tothom vegi com navega!*". Les imatges que segueixen mostren com les màquines treballen a un ritme frenètic fins que, finalment, el primer oficial es dirigeix al capità i li diu: "*21 nusos senyor!*". En aquell moment el *Titànic* anava a uns 39 km/h!

- Una ben coneguda novel·la de Juli Verne porta per títol *20.000 llegües de viatge submarí*. Prenent com a unitat la *llegua marina de 20 al grau* observem que el Nautilus fa un recorregut d'uns 111.120 Km. Això representa unes 2,78 voltes a la Terra. En un viatge tan llarg és normal que el capità Nemo s'hagués d'enfrontar amb tot tipus d'aventures.

Les *canes* (aproximadament 8 pams) i les *vares* (mitja *cana*, aproximadament 4 pams), per petites longituds, no quedaven enrera pel que fa a diversitat.

Algunes *canes*:

Cana de Girona	1,559 m
Cana de Barcelona	1,555 m
Cana de Lleida	1,556 m
Cana de Tarragona	1,560 m
Cana de Mallorca	1,564 m

Algunes *vares*:

Vara del Pallars	0,778 m
Vara de València i de Castelló	0,906 m
Vara de Xàtiva i Alacant.....	0,912 m
Vara de Terol	0,768 m
Vara de Pamplona	0,785 m
Vara d'Aragó	0,772 m
Vara de Castella	0,836 m

Seria un bon negoci comprar tela a “tant la *vara*” a Castelló i vendre-la, al mateix preu, a Terol (18% de benefici!)

La *vara* en *Don Quijote de la Mancha*. Sembla que es referia a una gran empanada de conill sense os i farcit (d'uns 40 cm).

També hi havia molta diversitat de *peus*:

Peu de Burgos	0,278 m
Peu francès	0,324 m
Peu del Rhin	0,314 m
Peu de Roma	0,297 m
Peu d'Amsterdam	0,283 m
Peu suís	0,300 m
Peu anglès	0,304 m
Peu rus	0,305 m
Peu egipci	0,225 m
Peu austríac	0,316 m

El *peu* és una unitat especialment distingida que té que veure amb l'amplada de via del ferrocarril. Una Reial Ordre de 1844 estableix l'amplada de via a Espanya en 6 *peus de Burgos* ($6 \times 0,278 = 1,67$ m). L'amplada internacional,

originària d'Anglaterra, correspon a 4 peus anglesos i 8 polzades i mitja ($4 \times 0,304 + 8,5 \times 0,0254 = 1,44$ m).

Les mesures de superfície també gaudien d'una diversitat molt gran. En societats agrícoles sovint heretaven el seu nom del de mesures de capacitat utilitzades pel gra. Així una *quartera* de superfície era l'extensió que podia sembrar-se amb una *quartera* de gra. Altres exemples són el *quartà*, el *picotí*, el *mesuró*, el *galí reiau*, etc. També s'utilitzava com a mesura de superfície el *jornal*. En aquest cas la diversitat també era gran: *jornals* de persona, de mula, de parella de bous... *jornals* de cavar, de segar, de llaurar... i cada població tenia els seus *jornals*.

Curiosament moltes d'aquestes unitats de mesura tan sols es conserven en la llengua a través de dites o frases fetes:

*No amidis als altres amb la teva cana
Més val unça que lliura
Pesar tres unces
Ploure a bots i barrals
El mal ve a arroves i se'n va a unces*

En aquest sentit cal assenyalar la riquesa d'unitats de mesura que pot trobar-se en la gran obra de Cervantes, *Don Quijote de la Mancha*, que ja hem esmentat. Permeteu-me que citi un paràgraf especialment bonic de la segona part, capítol LXVI:

"...un vecino deste lugar, tan gordo que pesa once arrobas, desafió a correr a otro su vecino que no pesa más que cinco. Fue la condición que habían de correr una carrera de cien pasos con pesos iguales; y habiéndole preguntado al desafiador como se había de igualar el peso, dijo que el desafiado, que pesa cinco arrobas, se pusiese seis de hierro a cuestras, y así se igualarían las once arrobas del flaco con las once del gordo.

-Eso no –dijo a esta sazón Sancho (...) es mi parecer que el gordo desafiador se escamonde, monde, entresaque, pula y atilde, y saque seis arrobas de sus carnes de aquí o de allí de su cuerpo (...) y desta manera, quedando en cinco arrobas de peso, se igualará y ajustará con las cinco de su contrario, y así podrán correr igualmente.

(...) Pero a buen seguro que no ha de querer quitarse el gordo una onza de sus carnes, cuanto más seis arrobas".

Es tracta d'un bell joc argumental en el qual cal tenir en compte que el gras pesava uns 125 kg i el flac en pesava uns 58. O es carrega al flac o es descarrega al gras. Són 67 Kg que sumen a un costat o resten a l'altre! Aquí Sancho inventa la liposucció!

Encara que no tractin específicament del tema de les mesures no puc resistir la temptació de citar tres formidables paràgrafs de *Don Quijote de la Mancha* que tenen que veure amb les Matemàtiques.

- En el següent paràgraf, extret de la segona part, capítol XVIII, fa el disseny curricular del cicle formatiu de *Caballería Andante*:

“Paréceme que vuesa merced ha cursado las escuelas. ¿Qué ciencias ha oído?

La de la caballería andante -respondió don Quijote-, que es tan buena como la de la poesía, y aun dos deditos más.

No sé qué ciencia sea esa -replicó don Lorenzo-, y hasta ahora no ha llegado a mi noticia.

Es una ciencia –replicó don Quijote- que encierra en sí todas o las más ciencias del mundo, a causa que el que la profesa ha de ser jurisperito y saber las leyes de la justicia distributiva y conmutativa... teólogo...

médico, y principalmente herbolario...

astrólogo...

saber matemáticas, porque a cada paso se ofrecerá tener necesidad dellas...

estar adornado de todas las virtudes teologales y cardinales...”

- Citem també el contenciós entre el *Licenciado de Salamanca* i el *Bachiller Corchuelo* (segona part, capítol XIX):

El Bachiller al Licenciado: “Apearos y usad de vuestro compás de pies, de vuestros círculos y vuestros ángulos y ciencia, que yo espero haceros ver estrellas a medio día con mi destreza (...) En lo que faltaba del camino les fue contando el licenciado las excelencias de la espada con tantas razones demostrativas y con tantas figuras y demostraciones matemáticas, que todos quedaron enterados de la bondad de la ciencia...”

- En el següent paràgraf, extret de la primera part, capítol XXXIII, s'endinsa en qüestions referents a la metodologia docent:

“Les han de traer ejemplos palpables, fáciles, inteligibles, demostrativos, indubitables, con demostraciones matemáticas que no se pueden negar, como cuando dicen: “Si de dos partes iguales quitamos partes iguales, las que quedan también son iguales”; y cuando esto no entiendan de palabra, como en efecto no lo entienden, háseles de mostrar con las manos.”

Observi's que, en llenguatge matemàtic, ens està exposant la implicació: $a = b \Rightarrow a - c = b - c$.

Com ja es deu haver entès, la darrera frase no fa pas referència a l'ús docent del material manipulable. En el context de l'obra aquest paràgraf es refereix a la conversió dels infidels.

Origen del Sistema Mètric Decimal

Revolució francesa

La manca d'una definició clara i acceptada per tothom permetia que les unitats de mesura fossin una eina de dominació i la seva unificació va ser un objectiu de la Revolució Francesa. El 9 de febrer de 1790 l'enginyer militar Prieur de la Côte d'Or fa un discurs a l'Assemblea Nacional demanant que s'unifiqui el sistema de mesures. El 8 de maig del mateix any l'Assemblea Nacional encarrega a l'Acadèmia de Ciències la reforma del sistema de mesures (significativament el rei tarda 3 mesos en sancionar aquest decret). El 19 de març de 1791 una comissió de l'Acadèmia de Ciències emet un informe on presenta tres alternatives per a l'elecció d'una unitat de mesura de longitud acceptable per tots els pobles i per tots els temps:

- La longitud d'un pèndul que batés segons a 45° de latitud.
- La quarta part de l'equador.
- La quarta part d'un meridià.

El dia 26 de març de 1791 l'Assemblea es decideix per la tercera d'aquestes opcions: "*La quarta part d'un meridià terrestre esdevindrà la unitat real de mesura, i la deu milionèsima part d'aquesta llargada serà la unitat corrent.*" En la mateixa sessió s'adopta el nom de *metre* (del grec *metron*, mesura) per a aquesta unitat.

Així doncs caldrà mesurar el meridià amb tanta precisió com sigui possible. Es plantegen tres preguntes:

- Què* cal mesurar, quina part del meridià?
- Qui* cal que es faci càrrec de fer aquesta mesura?
- Com* cal mesurar-ho?

Hi dediquem els tres apartats que segueixen.

Tanmateix cal assenyalar que, mentre es portaven a terme aquests amidaments, l'1 d'agost de 1793, ja s'establí l'estructura del Sistema Mètric Decimal sobre la base 10 i s'adoptava un *metre provisional* a partir de les mesures de la Terra fetes anteriorment a Lapònia i al Perú.

Què?

Es disposava ja d'alguns amidaments del meridià però calia posar en marxa una operació de mesura molt més ambiciosa que permetés assolir els nivells d'exactitud que la definició de la nova unitat requeria. Es tractava d'amidar sobre el terreny un arc de meridià tan extens com fos possible i extrapolar els resultats a tot el quadrant. Per millorar-ne la precisió convenia prendre l'arc

prop dels 45° de latitud (minimitzant així l'efecte de l'aplanament de la Terra) i que tingués els extrems al nivell del mar.

Es plantejaren tres possibilitats:

Dunkerque – Barcelona

Amsterdam – Marsella

Cherburgo – Murcia

Varen escollir la primera perquè ja s'hi havien fet altres amidaments anteriors. Probablement el fet de passar per París va tenir-hi alguna influència.

Qui?

La operació de mesura sobre el terreny s'encarregà a dos astrònoms molt reconeguts:

Pierre-François André Méchain (Laon, 1744 - Castelló de la Plana, 1804) es va fer càrrec del tram entre Rodés i Barcelona.

Jean Baptiste Joseph Delambre (Amiens, 1749 - París, 1822) es va fer càrrec del tram entre Dunkerque i Rodés.

Com? La tècnica de triangulació.

Mesurar sobre el terreny un arc de meridià no era una tasca gens fàcil fa dos segles. Actualment l'ús de satèl·lits artificials i del GPS permet portar a terme treballs geodèsics amb relativa comoditat però, fins fa poc, aquests càlculs s'havien de realitzar emprant l'anomenada tècnica de triangulació. Aquest mètode consisteix a determinar, mitjançant eines trigonomètriques, les longituds dels costats d'una cadena de triangles a partir d'una única distància ja coneguda i de diversos angles que cal mesurar acuradament.

Es parteix d'una distància que es mesura directament sobre el terreny i que s'anomena *base*. S'estableix un triangle imaginari que tingui dos vèrtexs situats en els extrems de la base i un tercer vèrtex en un punt, generalment elevat, des d'on es vegin els altres dos vèrtexs. Es mesuren els tres angles d'aquest triangle i, aplicant formules trigonomètriques, es calculen les longituds dels altres dos costats del triangle. Aquests dos segments podran servir, al seu torn, de base per a uns altres dos triangles dels quals, de nou, podrem mesurar els angles i calcular els costats. Així obtindrem successivament tota una cadena de triangles de costats coneguts que constituïran l'anomenada *xarxa de triangulació*. Per tal d'assegurar el contacte visual, normalment, els vèrtexs se situen en llocs elevats: cims de muntanyes, torres de campanars, etc.

Aquesta tècnica, en la qual es basa l'actual GPS (*Global Positioning System*), ja havia estat emprada prèviament per la mesura de trams de meridià. Aturem-nos-hi una mica!

Precedents de la mesura de parts de meridià

Des de Pitàgores era coneguda l'esfericitat de la Terra. Però, a principis del segle XVIII, encara hi havia certa controvèrsia entre els anglesos que, seguint les teories de Newton, suposaven que la Terra era aplanada pels pols i alguns científics francesos que suposaven que ho era per l'equador. Per resoldre aquesta controvèrsia l'Acadèmia de Ciències francesa va acordar mesurar l'arc sobre la Terra que corresponia a un grau de meridià al nivell de l'equador i al nivell de l'Àrtic. Per això es varen organitzar dues expedicions: una a Lapònia (amb els astrònoms i matemàtics Clairaut i Maupertuis) i l'altra al virregnat del Perú, concretament a la zona que avui és l'Equador (amb La Condamine, Godin i Bouguer).

Donat que la zona del virregnat del Perú era territori espanyol es van incorporar a l'expedició dos joves guàrdia marines de l'Acadèmia de Càdis: Antonio de Ulloa (20 anys) i Jorge Juan de Santacilia (19 anys). Les especials qualitats matemàtiques d'aquest últim feien que els seus companys de l'Acadèmia l'anomenessin "Euclides". Varen sortir el 26 de maig de 1735 i varen tenir que enfrontar-se amb tot tipus de problemes: una epidèmia poc després d'arribar a Quito on mor un expedicionari francès, un motí contra els francesos on mor el metge de l'expedició, dues erupcions volcàniques, una guerra naval amb Anglaterra... i, a més, les constants desavinences entre els científics francesos.

L'expedició va durar 10 anys i es varen mesurar tres graus de meridià. Retornats a Espanya Jorge Juan i Antonio de Ulloa varen escriure conjuntament "*Observaciones astronómicas y físicas hechas de orden de su Majestad en los Reynos del Perú*". També varen dirigir al rei un document titulat "*Noticias secretas de América*" on denunciaven els abusos i l'opressió de què eren objecte els indígenes per part de l'administració colonial.

Més endavant Jorge Juan de Santacilia va impulsar l'inici dels treballs del Real Instituto y Observatorio de la Armada a San Fernando (Càdis) que, encara avui, és l'organisme que fixa l'hora oficial espanyola. La seva cara apareixia en els darrers bitllets de 10.000 pessetes. Tota una satisfacció pel nostre gremi que els últims bitllets de valor màxim que han existit de pesseta siguin dedicats a un matemàtic!

Gràcies a aquestes expedicions es confirmà l'exactitud de la tesi newtoniana segons la qual la Terra és aplanada pels pols.

Les cadenes de triangles. Mesura de les bases i dels angles

En la realitat els càlculs associats a la tècnica de triangulació es compliquen per diverses raons: els triangles no estan en el mateix pla (cal mesurar-ne la inclinació), els costats dels triangles no cauen justament sobre el meridià (cal projectar-los en la direcció del meridià), la mesura de la base i dels angles ha de fer-se amb molta precisió (els aparells de mesura i la correcta visibilitat entre vèrtexs són essencials), ha de controlar-se la propagació (i possible

amplificació) d'errors en els càlculs successius, etc. En el cas concret de l'amidament de l'arc de meridià entre Dunkerque i Barcelona hi ha diverses dades especialment interessants referents a la precisió de la tècnica:

- En la mesura dels angles utilitzava l'anomenat *cercle repetidor de Borda* que permetia prendre repetidament una mateixa mesura per tal de minimitzar-ne els errors.
- Les distàncies s'amidaven prenent com a unitat la *toesa* (1 *toesa* equival a 1,949 m, és a dir, quasi dos metres). S'empraven 4 regles de dues *toeses* de longitud cadascuna. Cada regla portava una capa de platí i una de coure. La diferent dilatació dels dos materials permetia controlar la temperatura i tenir-la en compte en els amidaments.
- Es varen mesurar sobre el terreny dues bases: una base d'amidament entre Lieusaint i Melún i una base de comprovació entre Vernet i Salses, prop de Perpinyà. La base de Melún mesurava 6075,90 *toeses* (11,8 km). La base de Vernet mesurava 6006,249 *toeses* (11,7 km). El càlcul de la base de Vernet a partir de la de Melún seguint d'una cadena de 53 triangles donava 6006,089 *toeses*. Així doncs hi havia un error de tan sols 0,16 *toeses*! Sobre 650 km de separació un error de 30 cm!

Acabarem aquest apartat citant dues curiositats sobre la tècnica de triangulació

- Els darrers bitllets de 10 marcs estaven dedicats al matemàtic alemany Carl Friedrich Gauss. En una de les cares apareixia la seva figura i, a l'altra, s'hi representava un aparell destinat a la mesura d'angles i una xarxa de triangulació corresponent a una regió del nord d'Alemanya.
- Hi ha un llibre de Juli Verne (ja és el segon que recomano!) que porta per títol *Aventures de tres russos i tres anglesos* i que descriu les peripècies d'un grup de científics que es proposen mesurar uns graus de meridià en el cor d'Àfrica. Hi ha capítols amb títols tan sorprenents com "*Triangular o morir*" o "*Un grau més*".

Tot seguit descriurem una mica les operacions d'amidament que es varen portar a terme.

Primera expedició d'amidament del meridià a casa nostra Neix el Sistema Mètric Decimal

L'expedició estava encapçalada per Méchain. L'acompanyava el seu ajudant Tranchot i els comissaris espanyols Bueno, González, Planas i Álvarez. El dia 5 de juliol de 1792 arribaven a Perpinyà i a l'octubre estaven a Barcelona.

En el primer volum del llibre "*Base du Système Métrique Décimal*" original dels propis Méchain i Delambre, s'hi representa tota la cadena de triangulacions i, en particular, les triangulacions fetes en territori català. S'hi observen topònims que ens resulten familiars: N.D. du Mont (la Mare de Déu del Mont), Coste

Bonne (Costabona), Puy-se-Calm (Puigsacalm), Roca Corba o Mt. Jouy (Montjuïc). En el mateix llibre podem trobar una bonica descripció del cim del Roca Corba així com anotacions dels angles presos entorn de Girona, el Matagalls i Aulot (Olot) a finals de setembre (2 i 3 *vendémiaire*, en el calendari republicà francès que acabava de ser instaurat).

Tot plegat ben proper a nosaltres!

Però les coses no varen ser fàcils! Els nostres científics també tingueren les seves dificultats! Quan Méchain contemplava el funcionament d'una bomba per treure aigua d'un pou va patir un greu accident que l'apartà una temporada del seu treball. Al 1793, arran de l'execució de Lluís XVI, es declara la guerra a França i això dificulta de nou les operacions. Els treballs continuen en la mateixa línia de foc. Un cop acabada la triangulació en territori català Méchain desitja tornar a França però les autoritats militars no li ho permeten (coneix massa bé el territori!). Mentre es resol això fa observacions a la ciutat de Barcelona. Ara no el deixen accedir a Montjuïc (ciudadella militar) i les ha de fer des de la terrassa de la seva pensió al carrer Escudellers. Així detecta un possible error de 3.24" entre les observacions realitzades des de Montjuïc i les portades a terme des del carrer Escudellers. Això el preocuparà fins a la seva mort. A novembre de 1794 el permeten de tornar a França després d'haver estat detingut (per a la seva protecció, naturalment!) des de finals de juny.

Delambre, en territori francès, no va pas tenir menys problemes que Méchain. No sempre les observacions nocturnes dels científics es varen entendre correctament, a vegades eren interpretades com a sortilegis màgics o, més perillosament, com a senyals entre espies. Delambre es va convertir, a base d'ensurts, en un especialista en certificats, salconduits i permisos.

Entre 1794 i 1799 hi varen haver contactes internacionals per aconseguir l'acceptació de les noves unitats. Jean-Baptiste Le Chevalier va portar a Madrid mostres de les noves mesures. A Espanya, com en altres països, el metre era considerat socialment perillós i políticament incorrecte, més com un símbol republicà que com una innocent unitat de mesura. Això es va posar de manifest en l'actitud de Godoy respecte a la visita de Le Chevalier. L'havia d'atendre per tal de preservar les bones relacions amb França, però Salvador Jiménez (del Cuerpo de Ingenieros del Estado i assessor científic de Godoy) li proposà:

“Si el ánimo de VE, como supongo, es atajar esta astucia republicana sería bueno que si vuelve (Le Chevalier) le diga que me entregue las medidas diciéndole que nadie mejor que los ingenieros están en el caso de irlas empleando. Chevalier se irá y las medidas no las verán ni los ingenieros siquiera”

Va deixar les mostres a l'Acadèmia d'Història on va trobar més receptivitat.

El 22 de juny de 1799 es dipositen als Archives de la République a París dos patrons de platí que representen el metre i el quilogram. La longitud del patró metre correspon a la deumilionèsima part del quadrant de meridià terrestre que

havia estat calculat gràcies als esforços de Méchain i Delambre. El quilogram es defineix com la massa d'un decímetre cúbic d'aigua.

El 10 de desembre de 1799 Napoleó promulga la llei que estableix com a nou sistema d'unitats el Sistema Mètric Decimal, basat en el metre i el quilogram.

Segona expedició. Mort de Méchain

El dia 31 d'agost de 1802 es decideix emprendre una segona expedició amb l'objectiu d'allargar la mesura de l'arc de meridià fins a Formentera. Hi ha dues raons fonamentals:

- Quan més llarg sigui l'arc mesurat directament sobre el terreny més precisió s'obtindrà per a la mesura total del meridià.
- Allargar l'amidament fins a Formentera permetrà disposar d'un arc de meridià bastant centrat entorn dels 45° de latitud i minimitzar així els efectes de l'aplanament de la Terra.

Méchain insisteix molt en participar-hi, sembla ser que preocupat pel suposat error que havia detectat a Barcelona. Com a comissari espanyol s'incorpora fra Agustí Canelles.

Quan Méchain està fent observacions des del Desert de les Palmes (prop de Castelló) se li presenten els símptomes de la febre groga, epidèmia que estava assolant el sud d'Espanya (Màlaga la va patir especialment). Mor a Castelló de la Plana el 20 de setembre de 1804.

Tercera expedició. Les aventures de Francesc Aragó

El 2 de maig de 1806 es decideix continuar els amidaments que havien estat interromputs per la mort de Méchain. Ara l'expedició està a càrrec de Jean B. Biot i de Francesc Aragó, que tan sols té 20 anys. Els comissaris espanyols són Joseph Chaix i José Rodríguez González. El govern espanyol els posa un petit vaixell a la seva disposició "*El Místico*".

Mentre està fent observacions en el Desert de les Palmes (precisament on havia emmalaltit Méchain) Jean Baptiste Biot es troba malament i, molt espantat, demana ajut al científic tarragoní Antoni Martí Franquès, que l'atén a casa seva fins que es recupera. Finalment retorna a França i Francesc Aragó, jove científic nascut a Estagell prop de Perpinyà, es fa càrrec de continuar les operacions.

Les dificultats varen ser importants però les especials aptituds aventureres d'Aragó varen resoldre moltes situacions delicades. Permeteu-me que en citi dos exemples que tenen fins i tot trets còmics.

- A Formentera, per evitar que la gent li destruïssin un senyal el va construir en forma de creu i va demanar al bisbe indulgències pels que resessin davant d'ella.
- El 6 de maig de 1808 es va traslladar a Mallorca i es va instal·lar al cim de la Mola de l'Esclop a la Serra de Tramuntana. Va treballar amb relativa tranquil·litat completant els darrers grans triangles fins el 27 de maig de 1808 en què arribaren a Mallorca les primeres notícies de la guerra del francès. A partir d'aquí s'inicia una història rocambolesca que Aragó explica en la seva autobiografia "*Història de la meva joventut*":

La gent de les rodalies se'n recorda del francès que fa estranys senyals nocturns des de les muntanyes. No hi ha cap dubte que es tracta d'un espia. Immediatament es forma un grup per a capturar tan perillós personatge!

Un mariner de *El Místico* l'avisava i li proporciona un vestit de mariner. Tot baixant es troba amb el grup armat que puja. Segons explica el mateix Aragó: "*Vaig encoratjar molt i molt aquell destacament que seguissin per aquell camí, i vaig continuar la ruta cap a la ciutat*". Recordem que parlava el català ja que era nascut prop de Perpinyà!

Arribats al vaixell, el capità (atent al canvi de situació) tan sols li ofereix una caixa de fusta per amagar-s'hi. No hi cap. José Rodríguez demana al Capità General que el posi a la presó de Bellver on, almenys, estarà segur. Dies després fuig cap a Alger on s'enfronta amb diverses aventures fins que pot sortir en direcció a Marsella. Quan quasi hi està arribant, un petit corsari català el porta presoner cap a Roses. A Roses l'arresten en un molí, després a l'església i després al castell de la Trinitat. Un cop alliberat pretén anar cap a Marsella però quan ja s'hi troba a prop, el mal temps retorna el seu vaixell novament cap a la costa africana on li esperen noves aventures.

Finalment, el 30 d'agost de 1809 Aragó presenta a l'Acadèmia la memòria científica on completa els càlculs de les expedicions anteriors i estableix que la longitud del meridià és de 60 toeses més que la calculada inicialment.

Progressiva adopció del Sistema Mètric Decimal El Sistema Internacional d'unitats

El Sistema Mètric Decimal havia nascut però li quedava per recórrer el llarg camí del reconeixement per part dels diferents països:

Bèlgica i Holanda a l'any 1816,
Itàlia a l'any 1845,
Espanya i Grècia a l'any 1849,
Portugal a l'any 1852,

Alemanya a l'any 1870,
Àustria a l'any 1873,
Suïssa a l'any 1875,
Noruega a l'any 1879....

El 20 de maig de 1875 se signa a París la *Convenció del Metre*. Inicialment hi participen 17 estats entre els quals tan sols n'hi ha un de llengua anglesa, els Estats Units. Actualment hi ha 51 estats adherits. La *Convenció del Metre* crea tres organismes metrològics internacionals:

- La *Conferència General de Peses i Mesures* que reuneix, cada quatre anys, delegats de tots els estats membres.
- El *Comitè Internacional de Peses i Mesures* que és un comitè tècnic de 18 membres que, escollits per la *Conferència General*, es reuneixen anualment.
- L'*Oficina Internacional de Peses i Mesures* que constitueix el centre internacional de metrologia i que té la seva seu a Sèvres, prop de París. Actualment hi treballen més de 70 persones de diferents nacionalitats i gaudeix d'un status comparable al de les altres organitzacions intergovernamentals.

Entre els anys 1878 i 1889 es construeixen i calibren 30 prototips de metre i 40 de quilogram. Se n'escull un de cada com a prototips internacionals i el dia 28 de setembre de 1889 es diposita a l'*Oficina Internacional de Peses i Mesures* el nou patró del *metre internacional* que es concreta en la longitud a 0° d'una barra de platí amb un 10% de iridi, dura, bastant inalterable per la temperatura i amb un punt de fusió alt.

A l'any 1960 la *Conferència General de Peses i Mesures* adopta diverses decisions molt importants:

- S'estableix com a nova definició de metre la longitud igual a 1650763,73 longituds d'ona en el buit de la radiació corresponent a la transició entre els nivells de energia $2p_{10}$ i $5d_5$ de l'àtom de criptó 86.
- Es fixen les unitats bàsiques i les derivades. Les bàsiques són set: el metre, el quilogram, el segon, l'amper, el kelvin, el mol i la candela.
- S'estableixen els prefixes i els símbols per formar el nom dels múltiples i submúltiples decimals de les unitats.
- S'adopta en nom de *Sistema Internacional d'unitats (SI)*.

A l'any 1983 la *Conferència General de Peses i Mesures* vincula la definició del metre a la velocitat de la llum establint el metre com la trajectòria que recorre la llum en el buit durant $1/299792458$ de segon.

Aquesta és la història d'una gran aventura científica que es va iniciar quasi a casa nostra. Les nostres muntanyes encara en conserven testimonis i la ciutat de Barcelona, per fer-ne memòria, ha aixecat, a la plaça de les Glòries un monument al metre que reproduïx el relleu sobre l'arc de meridià entre Barcelona i Dunkerque tot seguint, naturalment, la direcció de l'avinguda Meridiana.

CONCLUSIÓ

Dèiem al principi que hi ha coses que ens resulten tan familiars, tan habituals... que no els hi donem importància. Ens hem aturat en dues d'elles relacionades amb les matemàtiques –el calendari i el Sistema Mètric Decimal– i darrera de cadascuna hi hem descobert perfils humans que representen l'afany per intentar millorar, des de la ciència, la nostra comprensió del món. Devem molt a aquests personatges i a molts d'altres, el nom dels quals potser ja ningú recorda, que varen protagonitzar des de les matemàtiques formidables gestes científiques, que no varen tenir por d'apropar-se a la utopia, que destruïren prejudicis i que varen obrir nous camins al progrés científic i social.

Moltes gràcies!