# Matemàtiques arreu i recursos

## Racó històric

### Augusta Ada Byron King, comtessa de Lovelace (1815-1852)

Mònica Blanco
Universitat Politècnica de Catalunya

En els tres volums de *Contes de bona nit per a nens rebels* (d'Elena Favili i Francesca Cavallo) que té la meva neboda Lia, hi apareixen les matemàtiques següents: Hipàcia (ca. 370-415), Ada Lovelace (1815-1852), Emmy Noether (1882-1935) i Maryam Mirzakhani (1977-2017). Per diverses raons, a la Lia la va atreure especialment la història d'Ada. Sobre Ada, jo sabia que era filla del poeta romàntic Lord Byron, que és considerada la primera programadora informàtica (en relació amb la màquina analítica de Babbage) i que un programa informàtic porta el seu nom. Però desconeixia molts detalls de la seva vida i de la seva activitat matemàtica. És per això, i per les lectures de la meva neboda, que vaig decidir dedicar el "Racó històric" d'aquest número a la figura d'Ada.

Ada Lovelace (Font: Bodleian Library)

La imatge mostra una de les poques fotografies conegudes d'Ada Lovelace, daguerrotip del fotògraf francès Antoine Claudet, ca. 1843.

#### Ada Byron: primeres influències

El 1815 va néixer a Piccadilly (Londres) Augusta Ada Byron, Ada, l'única filla de George Gordon (1788-1824), Lord Byron, i de la seva esposa Anne Isabella *Annabella* Milbanke (1792-1860). Un mes després del seu naixement, els seus pares es van separar i Byron no va tornar a veure la seva filla. Així doncs, va ser Annabella qui es va encarregar de l'educació de la petita Ada, amb el suport d'institutrius, tutors i amics. A l'Anglaterra de començaments del segle XIX, era habitual que les nenes de classe alta fossin educades per institutrius, que sovint basaven la formació en l'aprenentatge estricte, memorístic i superficial, d'aritmètica, geometria, llengües i música, entre d'altres. Lady Byron, que havia rebut una formació matemàtica bona per l'època, va voler evitar aquesta mena d'ensenyament per a la seva filla, ja que considerava que aprendre a pensar era molt més important que memoritzar. Reconeguda com a reformadora educacional, seguia els principis del reformador suís Johann Heinrich Pestalozzi (1746-1827), i va fundar diverses escoles que promovien l'aprenentatge actiu, i que combinaven l'estudi de llibres amb treball físic i pràctic. Es pot dir que el mètode de Pestalozzi va ser un precursor de les teories sobre l'educació de Jean Piaget i Maria Montessori. Lady Byron comptava amb el suport i el consell

del seu metge, William King (1786-1865), i del seu tutor de la infantesa, William Frend (1757-1841), que actuaven com a tutors informals d'Ada. En aquesta primera etapa, Ada ja sentia fascinació pels artefactes mecànics, les qüestions aritmètiques i la geometria pràctica [10, cap. 2]. Però volia anar més enllà, i el 1834 va demanar al Dr. King que la guiés en l'estudi de les matemàtiques pures. L'ensenyament del Dr. King, tradicional tant en l'àmbit de la literatura com de la metodologia, va començar per l'estudi dels *Elements* d'Euclides. Aviat l'alumna va superar al mestre.

Més o menys a la mateixa època, per recomanació de Frend, Ada coneix Mary Somerville (1780-1872), autora matemàtica i científica [4], [15]. Somerville i Caroline Herschel (1750-848) van ser les primeres *fellows* de la Royal Astronomical Society, probablement les úniques dones britàniques que es guanyaven la vida amb les matemàtiques. Somerville és coneguda principalment per la seva traducció a l'anglès del 1831 de la *Mécanique céleste*, de Pierre-Simon Laplace (1749-1827). Però també va contribuir de manera important a la circulació del càlcul diferencial [17]. De fet, és considerada una de les introductores de l'anàlisi continental en les matemàtiques britàniques, junt amb Charles Babbage (1791-1871), Augustus De Morgan (1806-1871) i George Peacock (1791-1858), entre d'altres [14, p. 18].

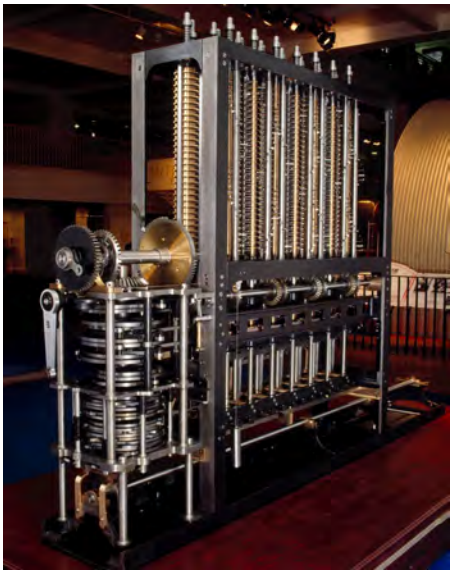
Autoretrat de Mary Somerville. Somerville College. Universitat d'Oxford

La família Somerville va introduir Ada a la societat científica i literària de Londres. Mary Somerville li enviava llibres de matemàtiques, l'aconsellava en el seu estudi, li proposava problemes i parlava amb ella sobre matemàtiques [9, p. 30-32]. Per exemple, per la correspondència se sap que estava estudiant l'edició anglesa de David Brewster dels *Elements of geometry and trigonometry*, de Jean-Marie Legendre (1752-1833). També discutien sobre els treballs de Babbage. La relació amb Somerville li va proporcionar dos contactes importants. D'una banda, el 1833 Ada coneix Charles Babbage, amic de Somerville. D'altra banda, el fill de Mary Somerville li va presentar Lord William King (1805-1893), amb el qual es va casar el 1835, motiu pel qual va passar a ser Ada King.

En plena revolució industrial, al voltant del 1821 Babbage va idear una màquina calculadora fent servir la tecnologia del vapor [7]. L'objectiu era mecanitzar la producció de taules impreses. Les operacions bancàries, comercials i de manufactura requerien una quantitat substancial de càlculs. La primera màquina de Babbage, la màquina diferencial, estava dissenyada per calcular i imprimir valors successius d'una fórmula polinomial, a partir del mètode de les diferències finites [10, p. 909], [12, p. 37-41]. Amb aquest mètode no calia multiplicar, només sumar i restar. Es tractava de la primera calculadora mecànica completament automàtica [4, cap. 4]. La màquina tenia set eixos, que representaven el valors tabulars i les sis primeres diferències, cada eix amb rodes que podien representar nombres fins a 20 decimals. A la figura següent es mostra la reproducció de la màquina diferencial (núm. 2) construïda pel Science Museum de Londres i acabada el juny del 1991. Babbage es va adonar que aquest procés també servia per aproximar funcions contínues a partir d'un polinomi en un interval adient. Per tant, la màquina es podria fer servir per calcular taules de qualsevol funció, així com per imprimir-les. Tot i que Babbage va aconseguir finançament per part del govern britànic, no es va arribar a construir un model complet, no només per la dificultat del projecte, sinó també perquè Babbage havia començat a interessar-se per un nou projecte, la màquina analítica.

Es va fer difusió de la màquina diferencial de Babbage a través de les xerrades i els textos del seu amic Dionysius Lardner (1793-1859) i les

trobades que el mateix Babbage organitzava els dissabtes al vespre. A una d'aquestes trobades hi van assistir Lady Byron i la seva filla el juny del 1833. Ada, captivada, va començar a assistir a les xerrades de Lardner i va estudiar els dibuixos d'enginyeria de Babbage. De fet, el seu interès pels assumptes mecànics es va anar desenvolupament amb les visites a fàbriques on la portava la seva mare. El seu estudi de la màquina de Babbage va reforçar el seu desig d'aprendre matemàtiques més avançades. El 1840, quan tenia 24 anys, Ada finalment va trobar un tutor matemàtic adequat: Augustus De Morgan.



Reproducció de la màquina diferencial (Font: Science Museum Group Collection, Londres)

## La correspondència matemàtica entre Lovelace i De Morgan

Després del seu casament, Ada va continuar l'amistat i la correspondència amb Mary Somerville. A partir del 1838 van passar a tenir menys contacte, després que els Somerville es mudessin a Itàlia. A més, els seus estudis matemàtics van ser interromputs temporalment a causa del naixement dels seus tres fills, Byron, Anabella i Ralph, el 1836, 1837 i 1839, repectivament. El 1838 William King va esdevenir comte de Lovelace, i Ada va passar a ser coneguda com a Ada Lovelace a partir d'aquell moment. Els Lovelace van establir una escola a Ockham (Surrey), on la família tenia residència, seguint els principis de Pestalozzi, com ja havia fet Lady Byron.

Durant un període de 18 mesos, entre el 1840 i el 1841, amb interrupcions per culpa del seu fràgil estat de salut i les seves obligacions socials i familiars, Ada va estudiar càlcul i matemàtiques superiors amb De Morgan, professor de matemàtiques a la London University (ara, University College de Londres), fundada el 1828 [6]. Tot i que se'l recorda principalment per les lleis de De Morgan, va ser un escriptor prolífic en totes les àrees de les matemàtiques, sobretot l'àlgebra i la lògica. Interessat per la difusió de les matemàtiques, com a professor volia que els seus estudiants entenguessin els principis bàsics, en lloc de treballar exercicis estàndards i repetitius.

Sens dubte, la publicació més substancial de De Morgan va ser l'obra *The differential and integral calculus* (1836-42), escrita per a la Society for the Diffusion of Useful Knowledge (SDUK), de la qual era un membre destacat. Fundada a Londres el 1826, la SDUK va ser una iniciativa principalment del liberal Henry Brougham (1778-1868) amb l'objectiu de publicar textos assequibles per a la gent que no podia accedir a una educació formal, o que preferia l'autoaprenentatge. De fet, va ser Brougham qui va encoratjar Mary Somerville a traduir la *Mécanique céleste* de Laplace. L'obra de De Morgan va ser la primera explicació en anglès de l'aproximació al càlcul desenvolupada per Augustin-Louis Cauchy (1789-1857), basada en la idea de límit. De Morgan també va participar de manera molt activa en un altre projecte de la SDUK, *The Penny Cyclopaedia of the Society for the Diffusion of Useful Knowledge* (1833-1843), per a la qual va escriure gairebé totes les entrades relacionades amb matemàtiques.

La formació de Lovelace amb De Morgan es pot descriure com una espècie de curs per correspondència. Es conserven 42 cartes d'Ada a De Morgan, i 20 respostes de De Morgan, molt més curtes que les cartes d'Ada. La correspondència entre Lovelace i De Morgan es pot consultar a `www.claymath.org`. L'article de Hollings, Martin i Rice [8] presenta una excel·lent anàlisi de la seva correspondència, des del punt de vista matemàtic. Fins a aquell moment, la formació matemàtica d'Ada havia estat eclèctica, i barrejava l'aprenentatge tradicional de la geometria pràctica amb llibres

moderns influïts per tractaments continentals, junt amb la seva fascinació per les màquines. De Morgan la va ajudar a desenvolupar hàbits d'estudi i a reparar les mancances de la seva primera educació matemàtica, i la va introduir en qüestions de recerca contemporània.

Després d'haver llegit alguns dels articles del seu tutor a la *Penny Cyclopaedia*, Ada va començar a estudiar l'obra de De Morgan sobre càlcul. En paral·lel, per poder entendre aquesta obra, també es va anar formant en geometria analítica i trigonometria, i va avançar en manipulació algebraica. Amb obsessiva atenció pel detall, pensament crític i independent, el novembre del 1841 les seves habilitats algebraiques havien progressat tant que De Morgan va compartir amb ella els seus resultats de recerca. A més, ja era capaç de cercar la literatura disponible per poder superar els obstacles i especular de manera correcta sobre solucions de certs problemes. Així, per exemple, va estudiar l'article de De Morgan *On the foundation of algebra*, sobre nombres complexos; va qüestionar alguns dels passatges i va fer referència a l'extensió a la geometria de tres dimensions. En certa manera, el seu comentari es pot considerar una predicció molt acurada del que dos anys més tard el matemàtic irlandès William Rowan Hamilton (1805-1865) anunciava com els quaternions.

Gràcies a De Morgan, Ada havia adquirit bons hàbits d'estudi, una base molt sòlida en certes àrees de matemàtiques superiors, una actitud crítica davant de principis fundacionals, habilitat per fer observacions crítiques en matemàtiques i capacitat per estudiar qüestions de recerca matemàtica britànica contemporània. El 21 de novembre del 1841, Ada va enviar una darrera carta al seu tutor, després de la qual es va interrompre el curs per correspondència De Morgan - Lovelace.

## La *Nota G* sobre la màquina analítica

El 1833 Babbage va començar a treballar en el seu nou projecte, la màquina analítica, i cap al 1838 n'havia elaborat el disseny bàsic. La nova màquina tenia molts punts en comú amb els ordinadors actuals. De manera resumida, consistia en dues parts bàsiques, *store* i *mill*. A la secció *store* s'hi emmagatzemaven les variables numèriques fins que eren processades, i també s'hi desaven els resultats de les operacions. La secció *mill* era on s'executaven les operacions: suma i resta algebraica, suma i resta amb $k$ nombres, verificar si una variable és zero, verificar si una variable té signe positiu o negatiu, invertir el signe d'una variable, multiplicar qualsevol nombre per $10^n$, multiplicar qualsevol nombre per $10^{-n}$, comptar el nombre de dígits d'una variable i enviar-lo a la secció *store*, calcular diferències i fer multiplicacions sense taula [10, p. 72]. Els anys 1930 Alan Turing (1912-1954) va mostrar que qualsevol màquina que pugui dur a terme aquestes operacions és una "màquina de propòsit general", en terminologia moderna. Per controlar les operacions, Babbage es va inspirar en la idea de Joseph Marie Jacquard (1752-1834), que va automatitzar la indústria tèxtil a França amb la introducció de targetes perforades descrivint els estampats per als telers. Babbage va dissenyar el seu propi sistema de targetes perforades, que havien de contenir tants els valors numèrics com les instruccions per a la màquina.

Babbage no va escriure cap descripció completa de la màquina analítica, mai construïda per manca de finançament, però es conserven els seus dibuixos i notació mecànica, molt detallats (unes 300 làmines de 2 per 3 peus, i milers de pàgines amb notes amb les seves idees). Per buscar finançament a l'estranger, el 1840 Babbage va organitzar una sèrie de seminaris sobre el funcionament de la seva màquina per a un grup de científics italians reunits a Torí, un dels quals, l'enginyer militar i estadista Luigi Federico Menabrea (1809-1896), va resumir els seminaris en un article de 17 planes publicat el 1842: *Notions sur la machine analytique de M. Charles Babbage* [3].

Ada va traduir l'article i, per suggeriment de Babbage, va afegir 40 pàgines amb notes addicionals sobre el funcionament de la màquina i les tasques que podria dur a terme. La traducció amb les notes es va publicar el 1843 a *Taylor's scientific memoirs*, signat amb les seves inicials. Ens centrarem a continuació en una de les notes d'aquest article, la *Nota G* [13, p. 722-731].

La tardor del 1841 Ada es va interessar per l'àlgebra dels nombres complexos. A partir de la lectura d'alguns articles de De Morgan

publicats a la *Penny Cyclopaedia*, es va familiaritzar amb els nombres de Bernoulli [5]. Els nombres de Bernoulli es defineixen de manera inductiva de la manera següent: $B_0 = 1$ i donats $B_1, B_2, \ldots, B_{m-1}$, aleshores es defineix $B_m$ a partir de l'expressió:

$$(m+1)B_m = -\sum_{k=0}^{m-1} \binom{m+1}{k} B_k$$

Així:

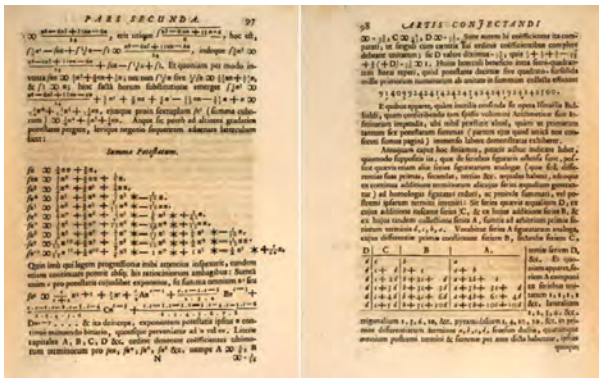
$$B_0 = 1, \quad B_1 = -\frac{1}{2}, \quad B_2 = \frac{1}{6},$$

$$B_3 = 0, \quad B_4 = -\frac{1}{30}, \quad B_5 = 0, \quad B_6 = \frac{1}{42}, \ldots$$

Els termes amb índex senar superior a 1 són nuls, mentre que els termes no nuls van alternant en signe. Els nombres de Bernoulli corresponen als coeficients del desenvolupament en sèrie de potències de la funció $\frac{x}{e^x-1}$ [11]:

$$\frac{x}{e^x-1} = \sum_{m=0}^{\infty} B_m \frac{t^m}{m!}.$$

Aquests nombres van ser descoberts per Jakob Bernoulli(1654-1705), que els va analitzar a la seva obra pòstuma *Ars conjectandi* (1713) per trobar fórmules per sumar les potències $k$-èssimes dels $n$ primers nombres enters.



Els nombres de Bernoulli,*Ars conjectandi* [2, p.97-98]

Els nombres de Bernoulli apareixen en diverses àrees de les matemàtiques [11, p. 228-248], com ara l'anomenat problema de Basilea i la funció zeta $\zeta$ de Riemann. A la seva publicació *De summis serierum reciprocarum*, del 1734, Leonhard Euler (1707-1783) va trobar i demostrar la suma infinita dels recíprocs dels nombres quadrats [14]:

$$1 + \frac{1}{4} + \frac{1}{9} + \frac{1}{16} + \frac{1}{25} + \cdots = \frac{\pi^2}{6}.$$

Euler va generalitzar la fórmula per a $2m$, amb $m$ enter positiu, i va provar per primer cop la relació següent (cf.[1] [11, p.231-232]):

$$2\zeta(2m) = (-1)^{m+1} \frac{(2\pi)^{2m}}{(2m)!} B_{2m}.$$

En la *Nota G*, Ada explica com la màquina pot computar els nombres de Bernoulli. El diagrama contingut a la *Nota G* és considerat sovint el primer programa informàtic.

Diagrama de la *Nota G* , [13]

Per il·lustrar la potència de la màquina, utilitza la fórmula següent, obtinguda amb manipulacions algebraiques fent servir l'expansió en sèrie de potències de $e^x$:

$$-\frac{1}{2} \cdot \frac{2n-1}{2n+1} + B_2\left(\frac{2n}{2}\right) +$$

$$+B_4\left(\frac{2n\cdot(2n-1)\cdot(2n-2)}{2\cdot 3\cdot 4}\right) +$$

$$+B_6\left(\frac{2n\cdot(2n-1)\cdot\cdots\cdot(2n-4)}{2\cdot 3\cdot 4\cdot 5\cdot 6}\right) + \cdots + B_{2n} =$$

$$= 0.$$

Aquesta fórmula, de fet, representa tot un grup de fórmules, un per a cada valor de $n$, i aquest mètode li permet trobar de manera recursiva cada nombre de Bernoulli, un cop s'ha determinat l'anterior. Per a $n = 2$ si tenim $B_2$, podem determinar $B_4$; per a $n = 3$, a partir de $B_2$ i $B_4$, podem determinar $B_6$, i així successivament. L'elecció dels nombres de Bernoulli és molt pertinent per marcar la diferència entre la primera màquina de Babbage, la màquina diferencial, i la màquina analítica. Per calcular-los cal fer moltes operacions; aleshores es prenen els resultats d'aquestes operacions i s'utilitzen per

a d'altres operacions, de manera niuada. Això no ho podia fer la primera màquina, però sí la màquina analítica.

Després del 1843, les úniques contribucions matemàtiques que Ada va publicar van ser dues extenses notes afegides a un article sobre l'efecte del clima en la gestió de les collites, publicat pel seu home el 1848 al *Journal of the Royal Agricultural Society*. Aquí Ada proposava de reemplaçar la teoria del creixement de plantes d'Agénor de Gasparin (1810-1871) per la teoria matemàtica alternativa de l'estadístic Adolphe Quételet (1796-1874), teoria acceptada pels científics moderns.

## Sobre Ada Lovelace

Segons Hollings, Martin i Rice [10], perquè una dona destaqués en el context científic britànic del XIX calia una combinació de factors: accés a l'educació; talent i ambició, reconeguts per ella i per d'altres; suport de l'entorn familiar; riquesa i bona posició social, i bona salut. Ada comptava amb tots aquests factors, excepte el darrer, i va morir el 1852 amb només 36 anys. La seva vida, el seu treball científic, la classe a què pertanyia i el fet de ser dona han inspirat nombroses biografies i treballs creatius. Les opinions sobre la seva capacitat matemàtica van des de "geni" fins a "xarlatana". Així, l'elaboració del seu famós article del 1843 i de les seves notes ha estat motiu de desacord entre els estudiosos. Mentre que la biografia de Stein [16] qüestiona la capacitat matemàtica d'Ada, pels seus errors i manca d'habilitats, d'altres, com Toole [18], l'eleven al rang de visionària. Malgrat ser una figura tan mediàtica i controvertida, en començar a llegir sobre Ada Lovelace em va sobtar el fet que, fins fa poc, no s'havien analitzat els seus escrits des del punt de vista de la història de les matemàtiques, i els primers a fer-ho van ser Hollings, Martin i Rice [8, 9]. Els autors d'aquests estudis prefereixen tractar Ada com un membre de la comunitat científica britànica de l'època, junt amb Babbage, De Morgan i Somerville. I, de fet, defensen la idea que l'article del 1843 és fruit de la col·laboració intel·lectual entre Babbage i Ada.

Des del 2009 el segon dimarts d'octubre se celebra el Dia d'Ada Lovelace, una cita internacional dedicada a donar visibilitat als èxits de les dones en ciència, tecnologia, enginyeria i matemàtiques (STEM), i a donar suport a les nenes i dones que estudien o treballen en l'àmbit STEM. Aquest any cau el 12 d'octubre, que coincideix amb l'aniversari de la meva neboda, detall que va refermar la meva decisió d'escriure aquestes línies sobre Ada Lovelace.

## Referències


[1] R. Ayoub. "Euler and the zeta function". *The American Mathematical Monthly*, 81 (1974), 1067-1086.

[2] J. Bernoulli. *Ars Conjectandi*. Basilea: Thurnisiorum Fratrum (1713).

[3] B. A. Boley. "Menabrea, Luigi Federico". A: C. C. Gillispie (ed.) *Dictionary of Scientific Biography*. Nova York: Scribner's (1971-1991), vol. 9, 267-268.

[4] A. Chapman. *Mary Somerville and the World of Science*. Bristol: Canopus (204) (reprint Springer international Publishing, 2015).

[5] A. De Morgan. "Numbers of Bernoulli". A: *The Penny Cyclopaedia of the Society for the Diffusion of Useful Knowledge*, vol. 16, Charles Knight and Co (1840), 365-366.

[6] J. M. Dubbey. "De Morgan, Augustus". A: C. C. Gillispie (ed.) *Dictionary of Scientific Biography*. Nova York, Scribner's (1971-1991), vol. 4, 35-38.

[7] N. T. Gridgeman. "Babbage, Charles". A: C. C. Gillispie (ed.) *Dictionary of Scientific Biography*. Nova York, Scribner's (1971-1991), vol. 1, 354-356.

[8] C. Hollings, U. Martin, i A. Rice. "The Lovelace-De Morgan correspondence: a critical re-appraisal". *Historia Mathematica*, 44 (2017a), 202-231.

[9] C. Hollings, U. Martin, i A. Rice. "The early mathematical education of Ada Lovelace". BSHM *Bulletin*, 32 (3) (2017b), 221-234.

[10] C. Hollings, U.Martin, i A. Rice. *Ada Lovelace. The Making of a Computer Scientist*. Oxford, Bodleian Library (2018).

[11] K. Ireland i M. Rosen. *A Classical Introduction to Modern Number Theory*. New York: Springer (1990), 2a. ed., 228-248.

[12] V. J. Katz. *A History of Mathematics: an Introduction*. Boston Pearson Education (2009), 3a ed., 909-913.

[13] A. Lovelace. "Sketch of the Analytical Engine invented by Charles Babbage Esq. By L. F. Menabrea, of Turin, officer of the Military Engineers, with notes upon the memoir by the translator". *Taylor's Scientific Memoirs*, 3 (1843), 666-731.

[14] M. R. Massa-Esteve. "Leonhard Euler (1707-1783): el mestre de tots nosaltres". *SCM/Notícies*, 44 (2018), 94-102.

[15] E. C. Patterson. "Somerville, Mary Fairfax Grieg". A: C.C. Gillispie (ed.) *Dictionary of Scientific Biography*. Nova York: Scribner's (1971-1991), vol. 12, 521-525.

[16] D. Stein. *Ada: A Life and a Legacy*. Cambridge MA: MIT Press (1985).

[17] B. Stenhouse. "Mary Somerville's early contributions to the circulation of differential calculus". *Historia Mathematica*, 51 (2020), 1-25.

[18] B. A. Toole. *Ada, the Enchantress of Numbers*. Mill Valley CA: Strawberry Press (1992).

# Bits de matemàtiques

## Divulgació matemàtica en línia

Laura Brustenga i Moncusí, UCPH
Martí Prats i Soler, UB

Avui repassem una petita part de la infinitat de recursos per a la divulgació de les matemàtiques que es poden trobar a internet. Aquest és un número especialment dissenyat per llegir en línia, així tindreu tots els enllaços a un cop de ratolí. Si no es diu el contrari, els noms d'usuari que apareixen al costat de persones i institucions es refereixen a Twitter.

La llista no és exhaustiva; de ben segur que hi manquen recursos de qualitat. Si en coneixeu cap, com sempre, aprofitem aquestes línies per animar-vos a fer-nos suggeriments a brust@mat.uab.cat o a martiprats@ub.edu, i així podem mirar de fer una guia més completa de cara al proper número. També us animem a crear contingut de qualitat en català a les xarxes, ja que de material en castellà i anglès, com veureu, no en falta.

### Canals de divulgació

Quèquicom és un programa de divulgació científica que va emetre Televisió de Catalunya del 2006 al 2020, presentat primer per Toni Mestres, després per Marc Boada i Jaume Vilalta. La qualitat del programa ha estat excel·lent tots aquests anys, durant els quals ha rebut nombrosos premis de reconeixement. Per exemple, tenen un programa dedicat a la lògica matemàtica.

Mostra gràfica de canals de divulgació

Al canal de YouTube del Museu de les Matemàtiques (@MMACA_cat, també s'hi poden trobar conferències molt inspiradores, així com activitats amb canalla i altres aportacions del museu més interessant de la Península, des del nostre humil punt de vista. El Creamat (@creamat1) també té unes llistes molt inspiradores, amb material organitzat per edats.

Three Blue, One Brown és un canal de YouTube en llengua anglesa creat per Grant Sanderson (@3blue1brown) i basat en la idea següent: en lloc de pensar una lliçó i després omplir-