

EL SOMNI DE RASHEVSKY

Fonaments fisicomatemàtics per a la història i la cultura

Salva Duran-Nebreda i Sergi Valverde

La famosa sèrie de ciència-ficció *Fundació*, escrita per Isaac Asimov, explora la idea que el futur de les societats no solament és previsible, sinó que fins i tot es pot dissenyar. En el món de ficció d'Asimov, es presenta una ciència multidisciplinària anomenada *psicohistòria* que combina les matemàtiques, la psicologia i la història per a predir esdeveniments futurs. Nicolas Rashevsky, el pare de la biologia matemàtica, va donar credibilitat a l'existència de principis universals que sustenten l'evolució cultural humana per mitjà de models matemàtics. La seua visió encara no s'ha realitzat plenament, ja que la nostra capacitat per a predir i fins i tot per a dissenyar l'enginyeria necessària és molt fragmentària. Dos obstacles importants són la confusió respecte al paper dels models matemàtics i les limitacions dels conjunts de dades actuals. Els avanços recents en la investigació sobre sistemes complexos, simulacions computacionals i bases de dades a gran escala estan aplanant el camí per al desenvolupament d'una vertadera teoria matemàtica de la història humana.

Paraules clau: **psicohistòria, cliodinàmica, culturòmica.**

■ INTRODUCCIÓ

L'evolució sociocultural ha estat documentada al llarg de la història dels humans i els primers homínins. Aquesta evolució es manifesta a través del desenvolupament d'eines que poden ser tan simples com una pedra utilitzada per a trencar nous o tan complexes com una nau espacial capaç d'aterrar en altres planetes. De la mateixa manera, hem estat testimonis de l'evolució de la població humana cap a una organització social multinivell (per exemple, amb cacics i estats). Encara que en alguns casos s'ha observat una disminució o pèrdua de complexitat social, en termes globals la complexitat tendeix a augmentar amb el temps. Malgrat la seua importància, les condicions i els factors que impulsen aquests canvis de complexitat encara són poc coneguts i estan subjectes a debat.

«Les societats són sistemes dinàmics amb molts elements en interacció»

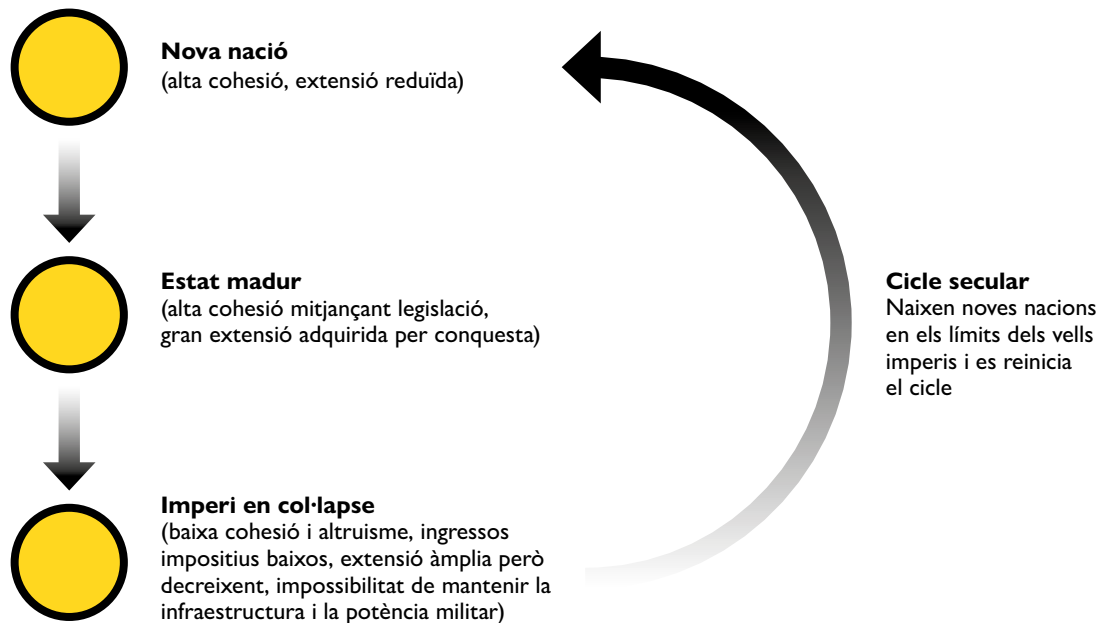
En el passat, l'estudi de la història s'ha abordat des d'un punt de vista principalment qualitatiu. Tradicionalment, s'han proposat moltes explicacions verbals *ad hoc*. Per exemple, un historiador alemany va donar 210 explicacions alternatives per a la caiguda de l'Imperi romà (Demandt, 1984), però, òbviament, no totes poden ser correctes. Les societats són sistemes dinàmics amb molts elements en interacció. La matemàtica formalitza aquestes retroalimentacions complexes i, a partir d'aquests models, ens per-

met extraure conclusions fiables a les quals no podríem arribar per mera intuïció. Aquesta aproximació ha tingut un èxit immens en física i biologia. És possible fer alguna cosa semblant per a entendre les dinàmiques històriques?

Quan Hari Seldon, l'inventor de la psicohistòria en les novel·les d'Asimov, descobreix que la seua societat galàctica està a la vora del col·lapse, entén que el públic

COM CITAR AQUEST ARTICLE:

Duran-Nebreda, S., & Valverde, S. (2022). El somni de Rashevsky: Fonaments fisicomatemàtics per a la història i la cultura. *Metode Science Studies Journal*. <https://doi.org/10.7203/metode.13.72170>



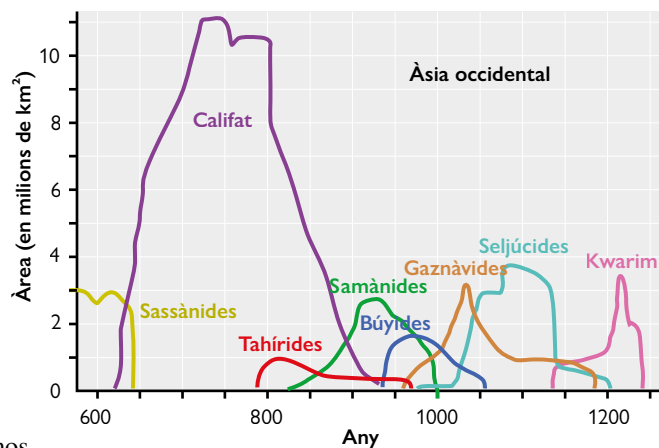
deu estar molt poc inclinat a creure-ho (Asimov, 2010). Després de tot, el seu imperi és completament funcional i els humans, en general, són incapaços de comprendre canvis de comportament bruscos i no lineals. Més enllà de l'escepticisme respecte a les seues prediccions, Seldon s'enfronta a un perill major, ja que molts en l'imperi galàctic veuen el seu treball com una amenaça per a l'*statu quo* social. En el món real, els qui proposen teories matemàtiques que podrien servir per a predir el comportament humà a gran escala s'han enfrontat a vegades a respostes similars.

La teoria del Gran Home va ser popular fins a mitjan segle xx. Suggestia que els successos històrics estan modelats per individus extraordinaris amb un lideratge i un enginy que transcendeixen les limitacions imposades per l'entorn i que aconseguen propiciar esdeveniments transformadors per a les societats i les cultures. Podem trobar aquesta perspectiva en molts textos històrics, des de l'antiguitat fins a eres més modernes, en una relació recíproca entre el dret diví a governar i els qui codifiquen la història de les societats humanes. Aquesta perspectiva va ser substituïda per una altra de més raonable, segons la qual «la història és complicada», que apunta que nombrosos factors en competència (des de la demografia a la religió) poden tenir un impacte en períodes crucials de la història i formar el seu propi microcosmos amb regles i explicacions idiosincràtiques. És aquesta perspectiva general que les coses són complicades i, en gran manera, impredecibles, la que amera les crítiques a les teories matemàtiques de la història.

En la psicohistòria fictícia, una predicció encertada depèn de dos prerequisits o axiomes principals. Primer,

Figura 1. Cliodinàmica. A dalt: segons Peter Turchin, en el cicle vital de l'evolució social («model dels cicles seculars»), les tendències històriques a llarg termini no s'expliquen a conseqüència de «canvis exògens en les tendències poblacionals», sinó com «el resultat de retroalimentacions que operen en un termini significativament llarg». Turchin va analitzar les tendències globals d'ascens i caiguda d'imperis i nacions i s'adonà que hi ha patrons regulars, que anomena *cicles seculars*: similituds dinàmiques en la forma com les nacions es creen, creixen en poder més enllà del que poden manejar, i entren en col·lapse territorial i poblacional durant el curs d'uns pocs segles. A sota: exemple de dinàmiques històriques imperials a l'Àsia occidental. Al llarg de sis segles van nàixer, van créixer, van madurar i es van esfondrar (substituïts per noves nacions) diversos ens de govern.

FONT: Recreat a partir de Taagepera (1997)





la població el comportament de la qual es desitja modelar ha de ser prou extensa (aproximadament 75.000 milions); i segon, els individus han d'ignorar que l'anàlisi psicosocial s'està realitzant. Aquests supòsits reforcen la idea que, encara que no és possible preveure les accions d'un individu concret, les accions individuals «es compensen» mútuament en les grans societats i el flux general dels esdeveniments futurs es torna previsible. Podem trobar aquest mateix desenvolupament en la transició des de la física newtoniana (en la qual la predictibilitat depèn de la capacitat de quantificar la posició i velocitat de cada objecte d'un sistema) a la física lagrangiana (en la qual el focus teòric no és el moviment de partícules individuals sinó les quantitats i la seua evolució dins del sistema, com l'energia cinètica i potencial). Els qui critiquen les aproximacions matemàtiques a la història s'han queixat que els humans no són com boles de billar –que, organitzats en configuracions específiques i colpejats amb la quantitat adequada de força, no rodaran inevitablement cap a la guerra o la pau–. És inútil plantejar-se si la psique i el comportament humà es poden predir. Només importa si, en una quantitat prou gran, els grups d'humans tenen propietats sistemàtiques (com la pressió o la temperatura en el conjunt de partícules que formen un gas) que sí que es puguin predir i correlacionar amb la guerra o la pau. No obstant això, aquesta perspectiva que els detalls humans no importen és diametralment oposada a l'enfocament predominant a Occident, on el valor humà resideix en la singularitat i la individualitat.

■ CAP A UNA TEORIA MATEMÀTICA DE LA HISTÒRIA

S'han utilitzat diferents marcs per a explicar l'augment de la complexitat sociocultural en les societats humanes (el factor demogràfic, el component cognitiu o la contingència històrica), però fins ara no s'ha aconseguit cap consens.

Nicolas Rashevsky

Les aproximacions matemàtiques a la història han estat indissolublement associades als avanços en biologia matemàtica. Molts investigadors destacats en aquesta àrea s'han vist influïts per la teoria evolutiva i pels múltiples intents de connectar les matemàtiques i l'evolució. Alguns es van formar com a biòlegs o van començar investigant en ciències de la vida. És el cas de Nicolas Rashevsky (1899-1972), un dels pares de la biologia matemàtica i la clodinàmica (Rashevsky, 1968). Encara que va començar la seua carrera com a físic teòric, més

tard es va passar a la biologia i aviat es va interessar per transformar les idees teòriques en un programa complet d'investigació en biologia matemàtica. Els humans són part del món natural i, com moltes espècies més, les seues accions poden donar forma al seu entorn, la qual cosa al seu torn influeix indirectament en les accions d'uns altres (mitjançant la tecnologia, per exemple). Això suggeria que els models matemàtics de comportament individual es podien estendre a les interaccions socials. El treball de Rashevsky i d'altres experts en sociologia matemàtica va demostrar la viabilitat d'aquest enfocament, que va aplanar el camí per a un pla més ambiciós (i controvertit).

En el llibre de Rashevsky *Looking at history through mathematics* (“Observant la història a través de les matemàtiques”) (Rashevsky, 1968) s'esbossa un intent d'unir les matemàtiques i la història. El llibre descriu una col·lecció d'elegants models matemàtics per a tota una sèrie de processos històrics. Per a Rashevsky, les matemàtiques abonaven la cerca de qualsevol principi general; és a dir, les «lleis de la naturalesa». L'existència de lleis generals que governen tant els sistemes vius com les societats humanes ja l'havia proposada el 1913 Felix Auerbach, en *Das Gesetz der Bevölkerungskonzentration* (“La llei de concentració de la població”),

així com en el llibre de George K. Zipf *Human behavior and the principle of least effort* (“Comportament humà i el principi del mínim esforç”), publicat el 1949. El pla de Rashevsky seguia aquesta tradició, però va ser rebut amb escepticisme i reticència per historiadors i filòsofs, i es va descartar per ser massa simplista. Rashevsky va deixar clar que la seua intenció no era encaixar en cap sistema concret, sinó desenvolupar les bases matemàtiques per a una ciència històrica. Però els historiadors han dubtat de l'existència de lleis universals en la seua disciplina des de fa temps, sota l'argument que amb models estilitzats és absolutament impossible explicar les complexitats i singularitat de les societats humanes. Incomprès, el llibre de Rashevsky va ser, en gran manera, oblidat, i l'aproximació matemàtica a la història es va descartar com una qüestió marginal durant unes quantes dècades.

Turchin i la clodinàmica

Podem trobar un defensor modern de l'enfocament matemàtic de la història en Peter Turchin, un antic ecòleg que va traçar alguns paral·lelismes entre Hari Seldon i ell mateix en el seu llibre de l'any 2000 titulat *War and peace and war* (“Guerra i pau i guerra”) (Turchin, 2005). Turchin reconeix fortes influències més enllà del món de la literatura, com ara treballs clàssics en teoria ecològica i sistemes dinàmics, però també en els textos del filòsof

«L'aproximació matemàtica a la història es va descartar com una qüestió marginal durant unes quantes dècades»



àrab del segle XIV Ibn Khaldun, a qui sovint s'atribueix la fundació de diverses disciplines científiques, entre les quals la historiografia, la sociologia i la demografia. En *War and peace and war*, Turchin defineix un marc matemàtic (la cliodinàmica) utilitzant les eines de la biologia de poblacions per a estudiar i predir diversos fenòmens socials, des de la geopolítica a l'etnocinètica. La cliodinàmica, dita així en honor a la musa grega de la història, estableix una aproximació en dos passos a la història humana, combinant les matemàtiques i una anàlisi empírica rigorosa.

En primer lloc, Turchin estableix la necessitat de convertir les teories verbals en models matemàtics. D'aquesta manera, es poden formalitzar els vincles causals entre variables, la qual cosa ens permetria realitzar prediccions comprovables i quantitatives i aconseguir conclusions sobre el teixit que ens uneix a les estructures socials. A més, aquesta abundància de teories i models necessita ser comprovada amb un conjunt robust de dades que incloga variables històriques generals, com la demografia i la grandària de les nacions. En concret, Turchin analitza les tendències globals d'ascens i caiguda d'imperis i nacions i s'adona que hi ha patrons regulars als quals anomena *cicles seculars*: similituds dinàmiques en la forma en què les nacions es creen, creixen en poder més enllà del que poden manejar, i entren en col·lapse territorial i poblacional durant el curs d'uns pocs segles (Figura 1). Aquests cicles no són el resultat de causes exògenes i el seu impacte en aspectes polítics, econòmics o socials, sinó de retroalimentacions endògenes que operen a escales temporals molt llargues.

Per a millorar la nostra comprensió de les dinàmiques històriques, Turchin i els seus col·laboradors (2015) van crear el banc de dades d'història global Seshat (que rep el nom de la deessa egípcia del coneixement i l'escriptura), un recurs de valor incalculable amb dades històriques de totes les èpoques relacionades amb la complexitat cultural, l'extensió de les nacions i la població. Aquesta extensa base de dades hauria d'ajudar els científics de tot el món a desenvolupar teories comprovables que milloren la comprensió formal de la cliodinàmica, és a dir, a crear una vertadera psichistòria. El Seshat no s'adhereix a cap teoria concreta, i s'ha utilitzat per a estudiar un ampli espectre de temes, com ara l'evolució de la complexitat social, el paper de la religió per a promoure la cohesió social, l'ascens i la caiguda dels imperis i moltes qüestions més. No obstant això, Turchin i els seus companys s'han enfrontat a fortes crítiques per oferir solament indicadors revi-

sats (generals) en lloc de dades en brut. Segons Spinney (2016), la complexitat agregada no sol ser suficient per a establir inferències causals i és necessari utilitzar en el seu lloc variables de baix nivell, encara que reconeix que el Seshat almenys ens hauria de permetre descartar moltes teories verbals sociològiques que mai s'han verificat amb bases de dades àmplies.

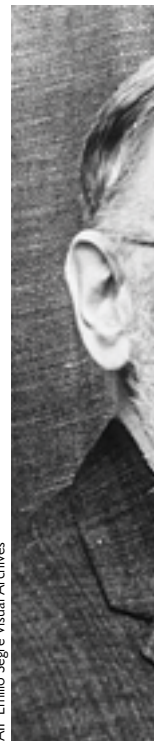
Humanitats digitals, culturòmica i 'big data'

Podem trobar una alternativa al Seshat en els extensos conjunts de dades produïdes per les humanitats digitals. Ja siga en la producció de llibres, el rendiment econòmic o els missatges de les xarxes socials, la nostra civilització s'ha convertit en una «societat algorítmica» que genera 2,5 exabytes de dades cada dia, d'acord amb les estimacions actuals. Per a ordenar i utilitzar aquestes quantitats d'informació, és necessari adoptar enfocaments de *big data* (tant en l'àmbit privat com en l'acadèmic).

En el cas de la literatura, els llibres ens proporcionen una finestra única a l'evolució cultural des dels orígens de l'escriptura. Observant el conjunt de registres escrits, esperem poder reconstruir patrons històrics a llarg termini. Però l'anàlisi de textos a gran escala no està exempta de dificultats. En primer lloc, una anàlisi longitudinal del llenguatge s'ha d'enfrontar a la

fragmentació de la informació en llibres individuals (Moretti, 2013). I en segon lloc, la integritat de les dades (especialment la dels textos antics) crea un buit considerable que fa molt complicat crear una teoria completa. Les humanitats digitals han sorgit com a nova disciplina per a ocupar-se d'aquestes grans quantitats d'informació. En aquest context, els projectes de digitalització de llibres a gran escala són un component essencial de l'enfocament quantitatiu en les humanitats. Un dels precursors va ser el projecte de digitalització de Google, i la disciplina associada de la culturòmica: l'estudi de les tendències culturals a través de l'anàlisi quantitativa de grans col·leccions de mitjans digitals. Una col·laboració entre Google i la Universitat de Harvard va escanejar aproximadament el 12% de tots els llibres publicats en la història (prop d'uns quinze milions de llibres impresos). Aquesta col·lecció massiva (a la qual es pot accedir de manera gratuïta a través de Google Ngram) (Michel et al., 2011) s'utilitza per a traçar trajectòries a llarg termini de la freqüència d'ús de les paraules en els llibres impresos (vegeu Figura 2). Es va suggerir que la culturòmica s'ocupa de mapar el comportament col·lectiu en l'era del *big data*, però no comprenem ben bé com són les trajectòries terminològiques i com es poden usar en la predicció de tendències futures.

«Un defensor modern de l'enfocament matemàtic de la història és Peter Turchin»



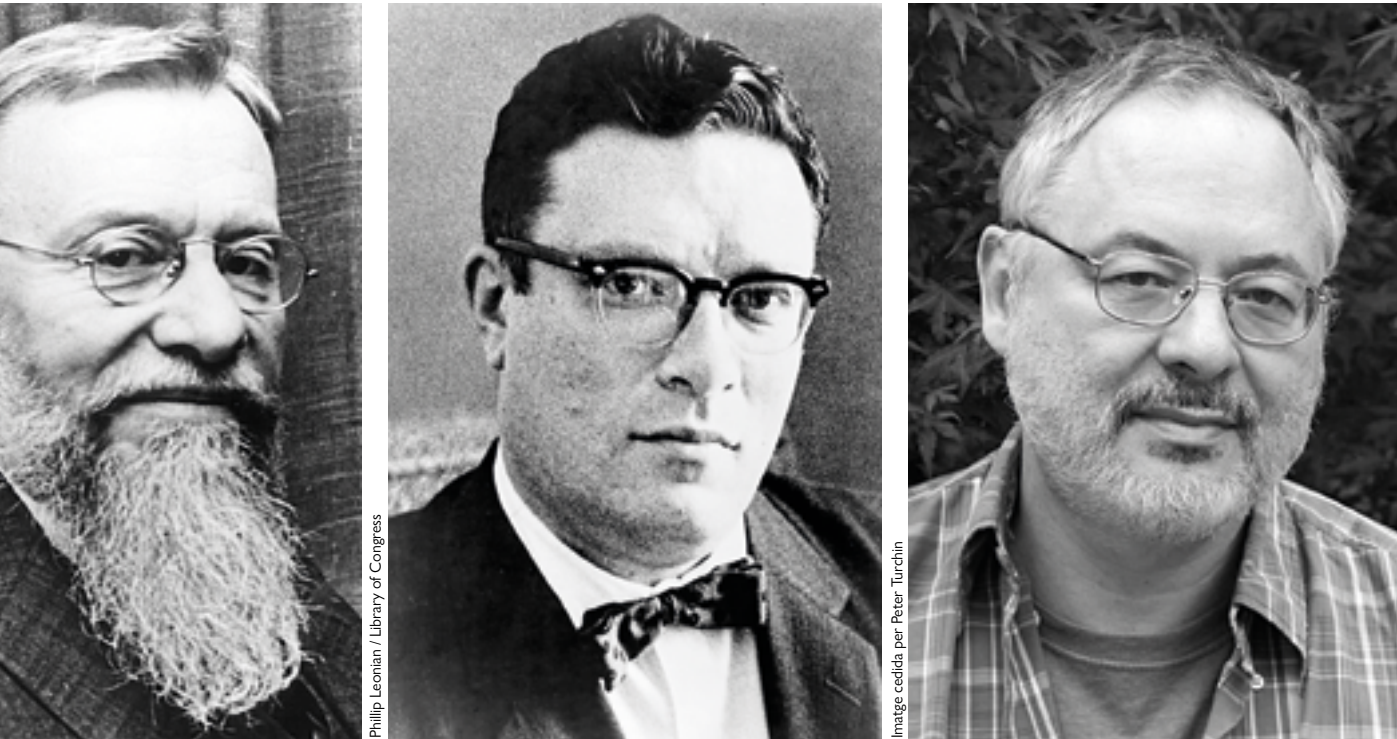
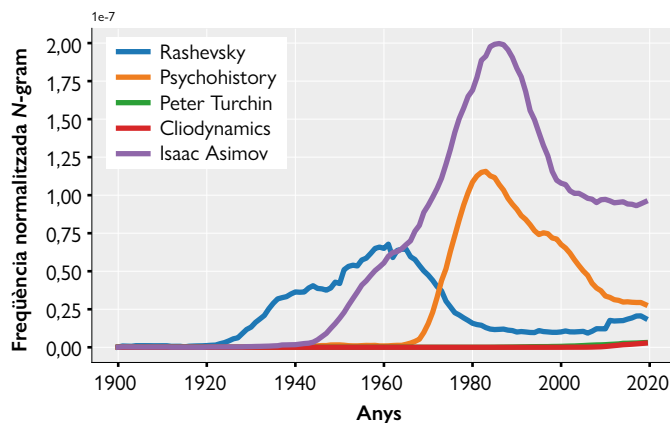


Figura 2. Culturòmica i big data. Els llibres ens proporcionen una finestra única a l'evolució cultural des dels orígens de l'escriptura i la seua digitalització ens permet rastrejar l'evolució i l'ús dels conceptes a través de la literatura impresa. A dalt, d'esquerra a dreta: Nicolas Rashevsky (1899-1972), Isaac Asimov (1920-1992) i Peter Turchin (1957), els tres defensors dels enfocaments matemàtics de la història. A baix: freqüència d'ús diacrònic de Rashevsky, *psychohistory*, Peter Turchin, *cliodynamics* i Isaac Asimov en milions de llibres impresos (1900-2019). Gràcies a les dades digitalitzades, podem observar els períodes en què aquests conceptes van ser més utilitzats en la literatura.



Una limitació d'aquests enfocaments de *big data* és la falta de control sobre variables teòriques. En centrar-nos en allò que ja ha ocorregut, limitem les nostres teories i prediccions a resultats que ja hem observat. Dissenyar experiments en el món real que aborden escenaris no observats és molt diferent. Per exemple, els investigadors han explorat el paper de la grandària de grup en la presa col·lectiva de decisions. S'ha descobert que els individus amb una comprensió parcial d'un problema es poden unir per a millorar la presa col·lectiva de decisions (Prelec et al., 2017). Altres treballs han explorat el paper dels llocs de lideratge grupal, i han comprovat que fins i tot els individus en llocs sense lideratge poden provocar impactes duradors en les decisions col·lectives si la seua decisió es comunica amb la suficient antelació. Això es veu justificat per un impuls psicològic humà bàsic que ens fa ajustar-nos a les emocions i creences expressades anteriorment. Aquests resultats donen context al llindar de població de 75.000 milions proposat per Asimov i suggereixen que l'evolució cultural en grups xicotets està subjecta a decisions individuals que poden assolir una importància desproporcionada.

■ DISCUSSIÓ

Els historiadors i filòsofs s'han mostrat poc inclinats a acceptar una aproximació matemàtica a la història. Darrere de les seues crítiques hi ha la suposició segons la qual la història és una sèrie d'esdeveniments caòtics



interrelacionats que ningú pot desxifrar. Com ens ha demostrat l'estudi de sistemes complexos, aquest és precisament el context en què els models matemàtics no sols són útils, sinó que es converteixen en una eina indispensable per a donar sentit a un món complex. Aquests models són necessàriament versions simplifi- cades de la realitat; un model amb la mateixa complexi- tat que el món real és impossible de processar. El punt de vista alternatiu, en el qual les històries humanes no estan subjectes a models matemàtics, implica que totes les teories verbals són possibles i no es poden confron- tar amb dades del món real.

Una simplificació que els historiadors han trobat particu- larment difícil d'acceptar és la irrellevància de les eleccions individuals en les escales més grans d'evolució social. La psi- cologia experimental ha corroborat que, almenys en grups petits, els líders i altres individus poden dirigir les dinàmiques col·lecti- ves. En les societats reals del passat, les dinàmiques col·lectives es produïen per la interacció de molts indi- vidus, impulsades per la cooperació i el conflicte. Avui dia, les comunicacions electròniques han provocat importants canvis socials, econòmics i de comporta- ment. Els estats moderns postindustrialment mostren un individualisme creixent, i això, paradoxalment, els acosta més a la física del billar, perquè elimina la inte- ractivitat social. L'aïllament en les societats modernes planteja nombrosos reptes globals, incloent-hi un aug- ment de la xenofòbia, la política reaccionària i les ame- naces autocràtiques, com demostren exemples recents (Bak-Coleman et al., 2017).

La visió de Rashevsky d'una teoria matemàtica de la història encara no s'ha realitzat completament. Una teoria com aquesta depèn de la nostra habilitat per a examinar enormes bases de dades en contínua expansió i trobar la proverbial agulla al paller. Sorpre- nentment, l'exhaustivitat de les dades (la possibilitat que el nostre coneixement siga incomplet) també és un vertader repte per a totes les ciències històriques, incloent-hi la biologia evolutiva. Això és especialment cert en el cas de l'arqueologia, però també en l'era digital: no tot el que fan els humans es conserva i existeix un perill real de perdre fragments importants d'in- formació històrica. Aquesta amenaça s'ha identificat fins i tot en disciplines que normalment considerem segures, com la innovació (dades de patents, publica- cions científiques) o el context històric (les notícies). D'igual manera que un organisme es deteriora amb l'edat, també ho fa el conjunt de coneixements acumu-

lat en la nostra societat. Sense una correcta preservació de la informació i un marc teòric coherent que reculla les tendències històriques, estem condemnats a viure en un univers en què mai aconseguirem entendre com- pletament la naturalesa social de la història humana.

Però no hem de desesperar-nos. Algú com Rashe- vsky probablement hauria anat més lluny en l'era d'In- ternet i el *big data*. L'investigador va lluitar per establir una aproximació matemàtica a la biologia i la història. Avui dia hi ha projectes de recopilació de dades a gran escala, i es fa un treball considerable en el modelatge

teòric i computacional de la histò- ria i l'evolució cultural. Ha arribat el moment de recuperar el somni de Rashevsky d'una psichistò- ria 2.0 que ens permeta modelar dinàmiques culturals i històriques gràcies a la gran riquesa de dades de què disposem. ☺

«Una teoria matemàtica de la història depèn de la nostra habilitat per a examinar enormes bases de dades en contínua expansió»

REFERÈNCIES

- Asimov, I. (2010). *Foundation: Foundation and empire; Second foundation*. No. 332. Everyman's Library.
- Bak-Coleman, J. B., Alfano, M., Barfuss, W., Bergstrom, C. T., Centeno, M. A., Couzin, I. D., Donges, J. F., Galesic, M., Gersick, A. S., Jacquet, J., Kao, A. B., Moran, R. E., Romanczuk, P., Rubenstein, D. L., Tombak, K. J., Van Bavel, J. J., & Weber, E. U. (2021). Stewardship of global collective behavior. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(27), e2025764118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2025764118>
- Demandt, A. (1984). *Der Fall Roms: Die Auflösung des römischen Reiches im Urteil der Nachwelt*. Beck.
- Michel, J. B., Shen, Y. K., Aiden, A. P., Veres, A., Gray, M. K., Google Books Team, Pickett, J. P., Hoiberg, D., Clancy, D., Norvig, P., Orwant, J., Pinker, S., Nowak, M. A., & Aiden, E. L. (2011). Quantitative analysis of culture using millions of digitized books. *Science*, 331(6014), 176–182. <https://doi.org/10.1126/science.1199644>
- Moretti, F. (2013). *Distant reading*. Verso Books.
- Prelec, D., Seung, H. S., & McCoy, J. (2017). A solution to the single-ques- tion crowd wisdom problem. *Nature*, 541(7638), 532–535. <https://doi.org/10.1038/nature21054>
- Rashevsky, N. (1968). *Looking at history through mathematics*. MIT Press.
- Spinney, L. (2016). History lessons. *New Scientist*, 232(3095), 38–41.
- Taagepera, R. (1997). Expansion and contraction patterns of large politi- es: Context for Russia. *International Studies Quarterly*, 41(3), 475–504. <https://doi.org/10.1111/0020-8833.00053>
- Turchin, P. (2005). *War and peace and war: The life cycles of imperial nations*. Pi.
- Turchin, P., Brennan, R., Currie, T. E., Feeney, K. C., Francois, P., Hoyer, D., Manning, J., Marciniak, A., Mullins, D., Palmisano, A., Peregrine, P., Turner, E. A. L., & Whitehouse, H. (2015). Seshat: The global history databank. *Cliodynamics: The Journal of Quantitative History and Cultural Evolution*, 6(1), 77–107. <https://doi.org/10.21237/C7clio6127917>

SALVA DURAN-NEBREDÀ. Investigador postdoctoral en l'Evolution of Networks Lab de l'Institut de Biologia Evolutiva (UPF-CSIC) (Espanya). Els seus interessos inclouen la biologia sintètica, l'arquitectura de teixits, els sis- temes complexos i les xarxes ecològiques. ✉ salva.duran@ibe.upf-csic.es

SERGI VALVERDE. Investigador de xarxes del CSIC i cap de l'Evolution of Networks Lab de l'Institut de Biologia Evolutiva (UPF-CSIC) (Espanya) i del Centre Europeu de Tecnologia Viva de Venècia (Itàlia). La seua investigació es basa principalment en la teoria de xarxes complexes, sistemes complexos i ecologia teòrica. ✉ sergi.valverde@ibe.upf-csic.es