

NÚRIA JAR  
Barcelona

El matemàtic britànic Alan Turing, avui considerat el pare de la computació i de la intel·ligència artificial, és un dels noms en majúscules de la història de la ciència. Tot i això, la seva figura va passar desapercebuda durant anys, en part perquè la seva feina estava classificada com a secreta. L'investigador va contribuir decisivament a derrotar Alemanya durant la Segona Guerra Mundial quan va desxifrar el codi Enigma amb què es comunicava l'exèrcit nazi. La commemoració del centenari del seu naixement el 2012 i la interpretació de Benedict Cumberbatch a la pel·lícula *Desxifrant l'Enigma* (*The imitation game*, 2014) van popularitzar la seva figura.

Tot i això, una de les seves facetes més desconegudes i ignorades –fins i tot per a molts científics– continua sent l'aportació que va fer en un camp d'estudi que no era el seu: les ciències de la vida. La seva contribució en aquesta àrea, en un únic article científic que va publicar al final de la seva vida, està sent reconeguda per una nova generació de biòlegs, que s'inspiren en la feina de Turing per comprendre el desenvolupament dels organismes i per crear nous òrgans i teixits al laboratori.

Turing va abordar amb mestria una de les grans preguntes de la humanitat: com es formen els éssers vius. El científic es preguntava com una única cèl·lula és capaç de dividir-se en moltes més i crear patrons i estructures diferenciades que donen lloc als éssers vius, des de les ratlles d'una zebra a les extremitats dels vertebrats.

Pensava que, si una computadora es podia programar per calcular, un ésser viu havia d'estar governat per algun mecanisme similar que n'expliqués el desen-

# Alan Turing, el geni que va descodificar la natura

## Un trist final

■ Nascut a Londres el 1912, va desenvolupar un model computacional que va ser el punt de partida de la programació i els ordinadors. També va plantejar el test de Turing per saber si una màquina és capaç o no de pensar. Va tenir un jove amant que va ajudar un còmplice a entrar a casa seva per robar-lo. Quan el va denunciar, Turing es va veure obligat a reconèixer a la policia que era homosexual i va ser condemnat per això. Va preferir acceptar un tractament hormonal a la presó, cosa que el va portar al suïcidi el 1954: va mossegar una poma enverinada amb cianur.

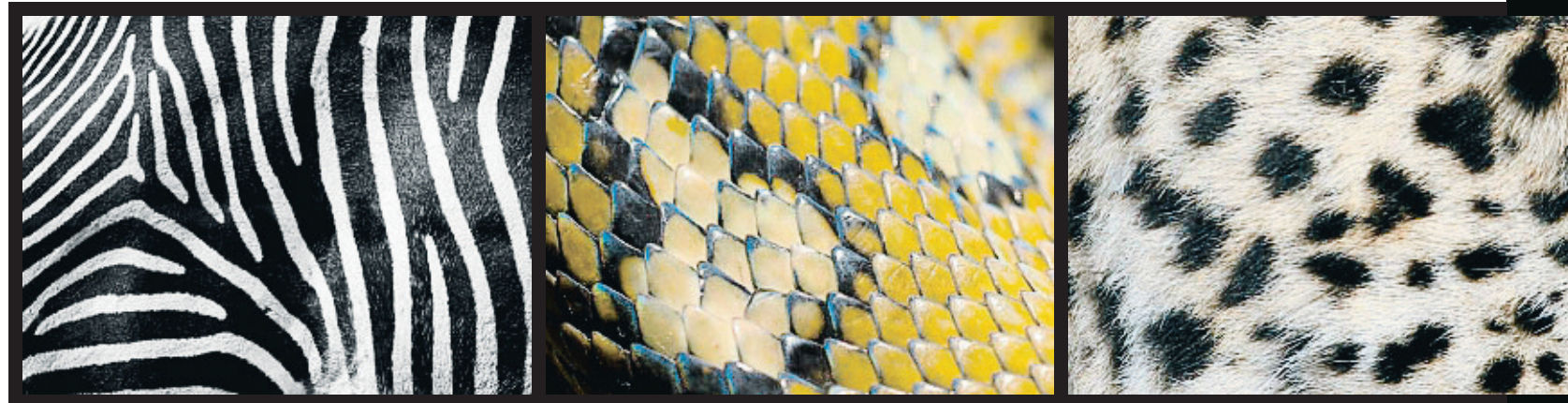
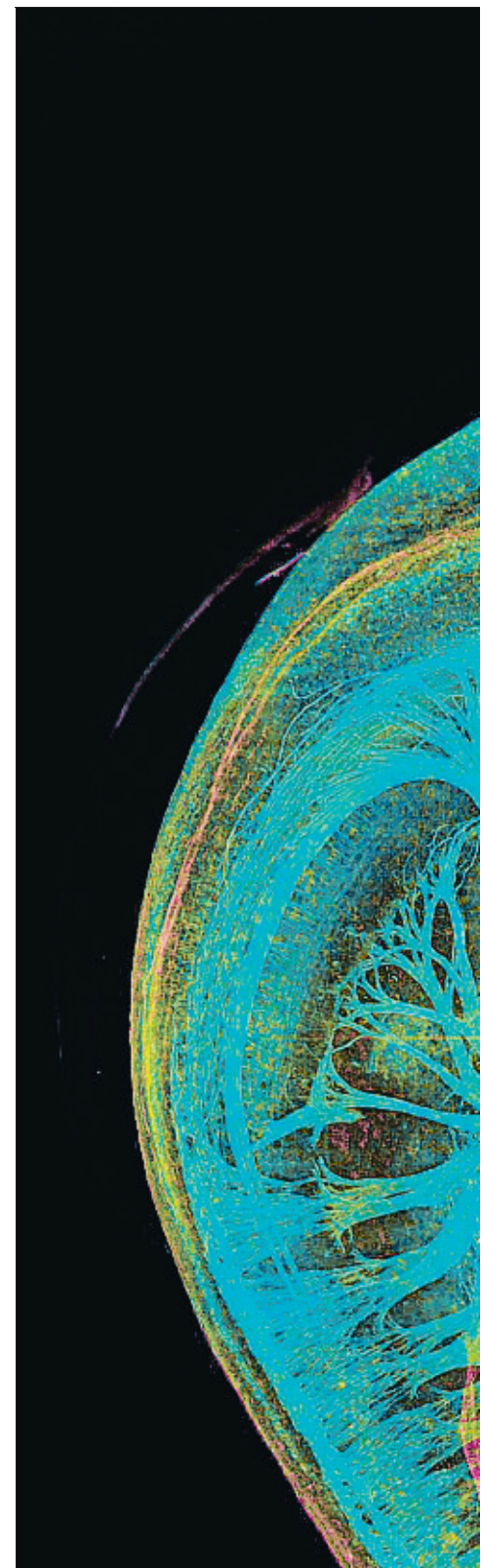


TIME & LIFE PICTURES

encara no ha aconseguit demostrar de manera concloent les seves equacions en el terreny experimental. Els japonesos Shigeru Kondo i Takashi Miura consideren en una revisió, publicada a *Science* el 2010, que una de les raons es deu a la separació entre la simplicitat matemàtica i la complexitat del món real, que fa que els biòlegs no estiguin familiaritzats amb aquest model.

Les preocupacions dels científics de finals del segle XIX i principis del segle XX se centraven en "qüestions fonamentals de la biologia del desenvolupament, sobretot la generació de la forma", recorda Ball. En aquell temps, alguns consideraven que un ésser viu creixia a partir d'una versió microscòpica de si mateix. No va ser fins a la dècada dels trenta que els experiments de Hans Driesch i Hans Spemann van introduir el concepte de diferenciació cel·lular, que explica que un organisme creix a partir d'una única cèl·lula sense estructura definida, gràcies a l'especialització de les cèl·lules. Un altre dels treballs que va marcar aquells anys va ser el llibre *On growth and form* (*Sobre creixement i desenvolupament*), que el 1917 va publicar el biòleg escocès D'Arcy Thompson, una de les sis úniques referències bibliogràfiques de l'article d'Alan Turing.

Malgrat aquella inquietud sobre l'origen de la vida, l'embriologia no va progressar fins a la segona meitat del segle passat, perquè no hi havia ni tecnologia ni les eines necessàries per al seu estudi. Turing es va avançar a la seva època. La seva teoria de patrons es va publicar un any abans que Francis Crick i James Watson descriguessin l'estructura de la doble hèlix de l'ADN. Aquests dos científics, també assentats a la Universitat de Cambridge (Regne Unit), van revolucionar la biologia i van virar l'interès del



### ELS PATRONS DE LA NATURA

Les ratlles de les zebres, la pell dels rèptils, les taques del lleopard, el desenvolupament de l'embrió, el creixement de les extremitats o la forma de les flors són tots exemples de fenòmens naturals que es poden explicar a partir de les equacions d'Alan Turing

volupament des de l'etapa embrionària. Turing va proposar un model matemàtic per resoldre aquesta qüestió a partir d'una combinació concreta entre molècules que impulsa, de manera espontània i autoorganitzada, la creació de patrons biològics. Això fa que, encara que totes les cèl·lules d'un organisme continguin la mateixa informació genètica, siguin capaces de diferenciar-se en els diferents tipus cel·lulars que formen la seva estructura, com ara els ossos, els músculs o la sang.

Aquesta hipòtesi va portar Turing a publicar l'únic article científic de la seva carrera, que va dedicar a la química, malgrat que no tenia experiència en aquesta disciplina. Els dos processos que contribueixen a crear estructures són la difusió de mo-

lècules a través de l'espai i la reacció química entre si. Segons el matemàtic, a causa d'un equilibri concret entre reacció i difusió, no es creen els patrons homogenis habituals, sinó que la simetria

**El matemàtic anglès, en qui es va inspirar la pel·lícula 'Desxifrant l'Enigma', va contribuir a derrotar l'exèrcit nazi**

es trenca i es generen patrons periòdics.

"La teoria no planteja cap hipòtesi nova, simplement suggereix que certes lleis conegudes de la física són suficients per explicar molts fets", s'expressa

amb modèstia a l'article publicat el 1952 per la revista de la Societat Reial de Londres. Dos anys més tard se suïcidaria, després de ser sotmès a una teràpia hormonal que en aquella època s'administrava per tractar l'homosexualitat.

"La seva contribució és extraordinària [...]; abans de Turing ningú no havia pensat a preguntar-se la qüestió que ell planteja: com un embrió esfèric es convertia en un organisme no esfèric com un ésser humà", va destacar fa tres anys en un article Philip Ball, escriptor i autor del llibre de divulgació *Patterns in nature* (*Patrons en la natura*).

Aquella idea revolucionària de l'investigador britànic avui té més de deu mil referències en la literatura científica, però ningú

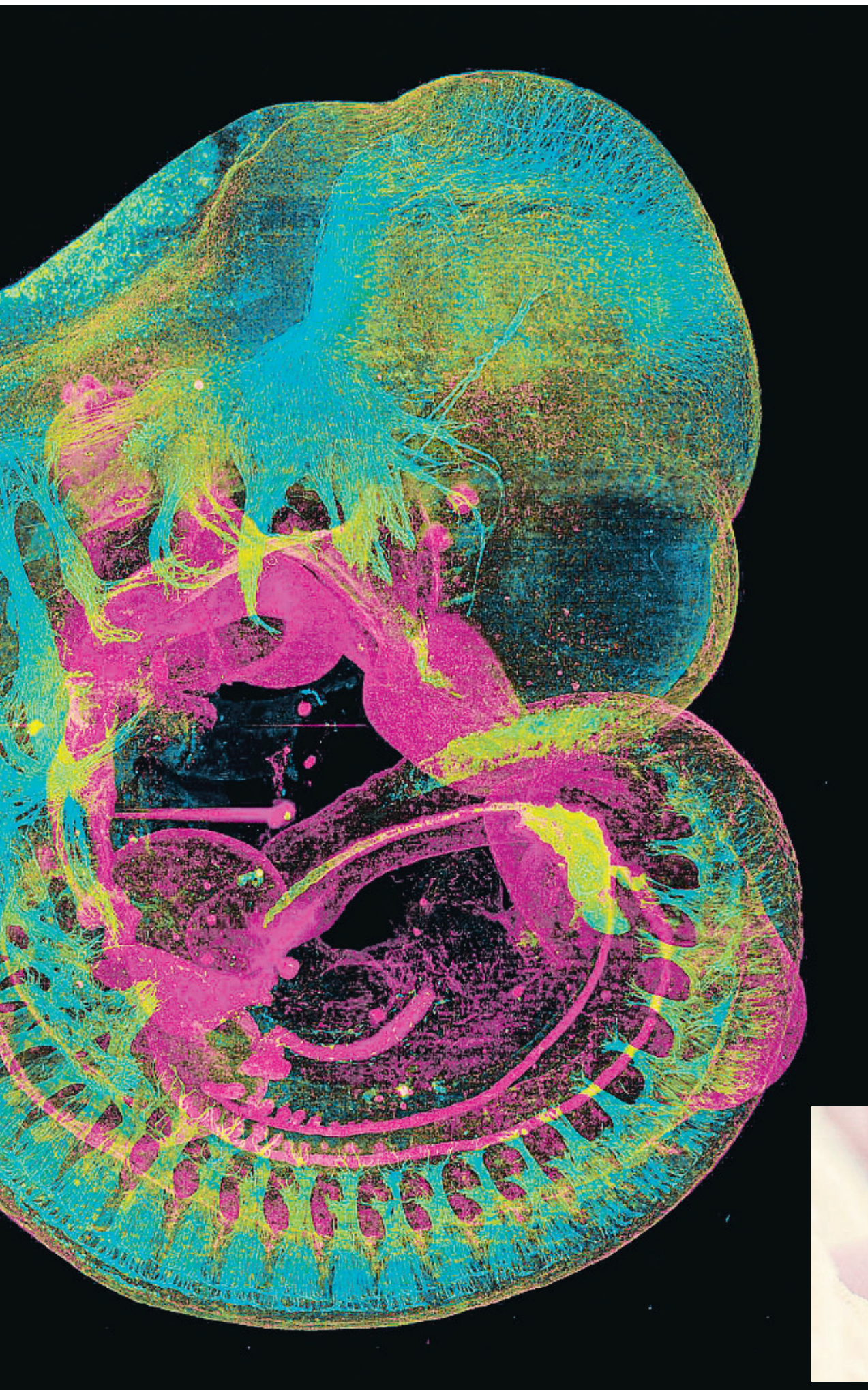
camp cap a una altra direcció, i van eclipsar les equacions de Turing durant les dècades següents. No va ser fins més endavant que les seves fórmules serien considerades una "obra mestra", se-

**Va ser el primer que es va preguntar com un embrió esfèric es converteix en un cos de formes complexes**

gons Kondo i Miure. En un article de *The New York Times*, la periodista científica JoAnna Klein el resumeix de la següent manera: "Com totes les millors idees científiques, la teoria de Turing era elegant i simple".

La capacitat visionària de Turing el va portar a inventar paraules per designar realitats fins aleshores desconegudes. El concepte *morfogen* expressa "la idea d'una forma de producció sense ànim de tenir un significat exacte", explica el matemàtic: "Possem per cas un evocador de cama mitjançant el qual la cama es forma en la seva presència". Segons Turing, un morfogen podia ser un gen, les hormones o els pigments de la pell.

"Va encunyar el terme per referir-se a una molècula amb la capacitat d'induir una diferenciació tissular", posa en relleu John Reinitz, investigador a la Universitat de Chicago, en un article publicat el 2012 a la revista *Nature*. Una altra vegada, la capacitat visionària de Turing es va avançar fins a tres dècades a la



# R

## EL REPORTATGE

*Una nova generació de biòlegs reivindiquen el llegat del pare de la computació, que va desxifrar a través de les matemàtiques com es formen els éssers vius*

cia que es va eixamplant fins que el seu organisme duplica la mida. Quan el peix arriba als quatre centímetres, emergeixen noves ratlles i l'espai entre una i l'altra torna a ser el mateix. La reorganització del patró ratllat es repeteix quan l'exemplar creix fins als vuit centímetres. Més endavant també es demostraria que altres espècies de peixos comparteixen la mateixa naturalesa dinàmica, incloent-hi el model de laboratori del peix zebra (*Danio rerio*).

Les equacions de Turing també es validarien en la disposició de les plomes dels pollastres, els fol·licles de pèl en ratolins i la ramificació dels pulmons en els mateixos rosegadors. En el terreny de l'embriologia, la demostració dels patrons de Turing es converteix en tota una proesa: "En el cas de la formació de patrons de pigmentació, és possible pertorbar el patró i observar el procés de regeneració. En la majoria de la resta de sistemes, aquesta observació és complicada, perquè les pertorbacions experimentals poden ser letals", argumenten Kondo i Miure.

Les aproximacions matemàtiques d'Alan Turing han contribuït a comprendre els sistemes complexos, com ara éssers vius. "Els últims 30 anys, estudis a escala molecular han revelat que un gran ventall de fenòmens fisiològics està regulat per xarxes complexes d'interaccions cel·lulars i moleculars", van escriure Kondo i Miure. Ara, les equacions de Turing s'erigeixen com una promesa per a la biologia sintètica, especialment per a l'enginyeria de teixits. La comprensió de com emergeixen els patrons cel·lulars, gràcies a les fórmules que va plantejar el matemàtic, permetrà crear noves estructures al laboratori, com ara òrgans i teixits.

"Els patrons de Turing ens ofereixen una paleta de dissenys

descripció dels gens Hox que, com els morfògens de què ell parlava, són responsables de la formació dels éssers vius. Aquell descobriment, en mosques de laboratori (*Drosophila melanogaster*), va fer que els biòlegs Edward Lewis, Eric Wieschaus i Christiane Nüsslein-Volhard guanyessin el premi Nobel de Medicina el 1995.

Les equacions d'Alan Turing representen "la primera simulació per ordinador de patrons", recalca Reinitz, i posteriorment han inspirat nombrosos treballs. En el terreny teòric, diversos grups d'investigació han demostrat les seves fórmules.

L'últim ha estat un equip de científics de la nova seu barcelonina del Laboratori Europeu de Biologia Molecular (EMBL), que fa uns quants dies va presentar un

nou model per estendre els patrons de Turing gràcies a la teoria de grafs, una branca de les matemàtiques que estudia les propietats de xarxes. El coordinador de l'estudi, James Sharpe,

**El seu treball sobre biologia, que va publicar poc abans de morir, ha estat ignorat durant dècades**

també va publicar fa quatre anys a la revista *Science* un altre treball, en aquest cas experimental, que mitjançant les equacions de Turing va explicar la formació dels dits de les mans i els peus quan era investigador del Centre

de Regulació Genòmica (CRG) a Barcelona.

La primera reacció química al laboratori que va demostrar els patrons de Turing es va reportar el 1990, en un article firmat per investigadors de la Universitat de Bordeus (França). A partir d'aquella dècada, la majoria de treballs experimentals sobre patrons biològics, basats en les teories de Turing, es van centrar en sistemes molt més senzills, com ara la formació de les dunes de sorra o les taques de la pell dels animals, que apareixen gràcies a l'activació i inhibició de les rutes que estimulen la producció de pigment –en el cas dels mamífers, la melanina–.

Els peixos tropicals (*Pomacanthus imperator*) van ser els protagonistes de la primera observació experimental, aconse-

guia el 1995. A diferència de la pigmentació dels mamífers, com les ratlles d'una zebra, aquesta espècie aquàtica manté la distància entre les ratlles del seu organisme per la contínua reorganit-

**Les investigacions d'enginyeria de teixits i biologia sintètica revelen el potencial de les idees de Turing**

zació de patrons que pot predir el sistema de Turing.

Els investigadors japonesos Shigeru Kondo i Rihito Asai van observar que les cries, de dos centímetres, tenen tres ratlles dorsoventrals, amb una distàn-



JAMES SHARPE / CRG / EMBL