

El Cau del Hàcker

Enric Plaza

L'Univers Computacional

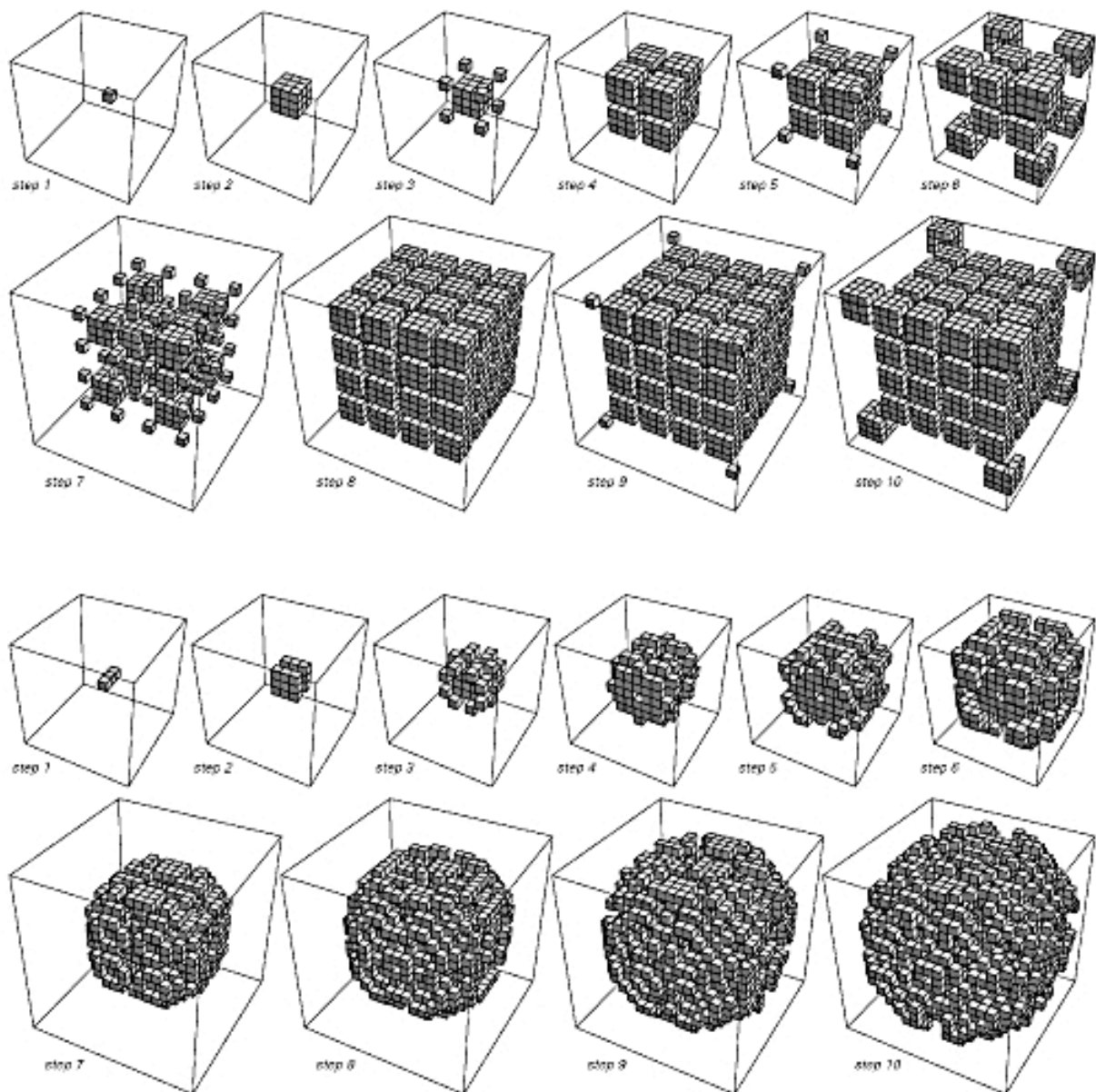
Avui per avui, els conceptes computacionals es van obrint camí lentament en biologia. No només el codi genètic és un "codi" en el sentit fort del terme, també hi ha "estructures de control" en el codi genètic (els anomenats *switch genes*, similars a un *goto*). Tot plegat fa cada cop més palès que l'estudi de sistemes complexos, com els biològics, les nocions desenvolupades en sistemes computacionals són útils o necessaris. El primer precedent d'aquesta influència va ésser el desenvolupament de la psicologia cognitiva davant el paradigma establert de la psicologia conductista. Per bé que el "cognitivisme" en l'estudi de la ment ha causat molts i encesos debats científics i filosòfics, sembla que en biologia, de moment, la cosa encara no genera debats—potser els tindrem quan s'entengui millor el genoma.

Sorprenentment, el debat sobre les nocions desenvolupades en sistemes computacionals s'han desfermat en els últims temps en física. Això fa que els tres grans dominis en que dividim el món (*physis*, *bios* i *psyche*) ja estiguin "contaminats" per la computació i el seu paradigma. Els debats en física tracten de diferents temes però tots tenen en comú una qüestió fonamental: la relació entre procés físic i procés computacional. Alguns autors declaren la unicitat de processos físics i processos computacionals, altres la neguen amb matisos o sense. Els matisos, usualment, es refereixen a la relació metafòrica entre un model computacional i el procés físic que descriu. És a dir, encara que els processos físics puguin descriure's de manera computacional, l'univers físic no és un ordinador.

El debat actual ha sorgit a partir del llibre d'en Stephen Wolfram *A New Kind of Science*. Tanmateix, abans de discutir el llibre d'en Wolfram cal tenir en compte els antecedents que en anys recents també han abordat la mateixa qüestió.

David Deutsch és un físic d'Oxford que el 1998 va rebre el Premi Paul Dirac "pel seu treball pioner en la computació quàntica, que va menar al concepte d'ordinador quàntic, i per la seva contribució a entendre com aquests dispositius poden construir-se a partir de portes lògiques quàntiques i xarxes quàntiques". El 1997 es va publicar el seu llibre *The Fabric of Reality*, on dona una visió del món que combina quatre teories fonamentals: la física quàntica, l'evolució, la computació (quàntica), i una teoria del coneixement (popperiana)¹.

¹ Des del punt de vista epistemològic, el llibre de Deutsch critica la visió instrumentalista i positivista de la ciència: els models físics simplement "fan prediccions" de fenòmens en



Per Deutsch, la teoria de la computació quàntica és LA teoria de la computació. Així, la teoria de Turing és el “model clàssic”, una aproximació vàlida com al newtoniana però que es converteix en un cas paricular de la nova generalització: la computació quàntica. En una entrevista a Edge (www.edge.org, “La revista electrònica de la 3a cultura”) Deutsch diu que la teoria quàntica de la computació també proveu el llenguatge més senzill i el formalisme matemàtic més adient per la teoria quàntica. Així, la computació quàntica esdevé “bàsica” per la teoria quàntica. Per exemple, els experiments de la inigualtat de Bell, on la propietat d’*entanglement*² entre partícules elementals sembla contradir el principi de localitat (segons alguns físics), Deutsch i

experiments i no “expliquen” res. Deutsch diu que cal també parlar d’*explicacions* i de *comprensió* per explicar la ciència. El prefaci del seu llibre és a la seva pàgina web i resumeix aquesta postura amb un exemple molt convincent.

² *Entanglement* és *embullament*, com en “cabells embullats”, en castellà li diuen “entrelazamiento”.

Patrick Hayden han fet un model de “transmissió de la informació” que mostra el manteniment de la localitat dels fenòmens físics (tot mantenint l'*entanglement*).

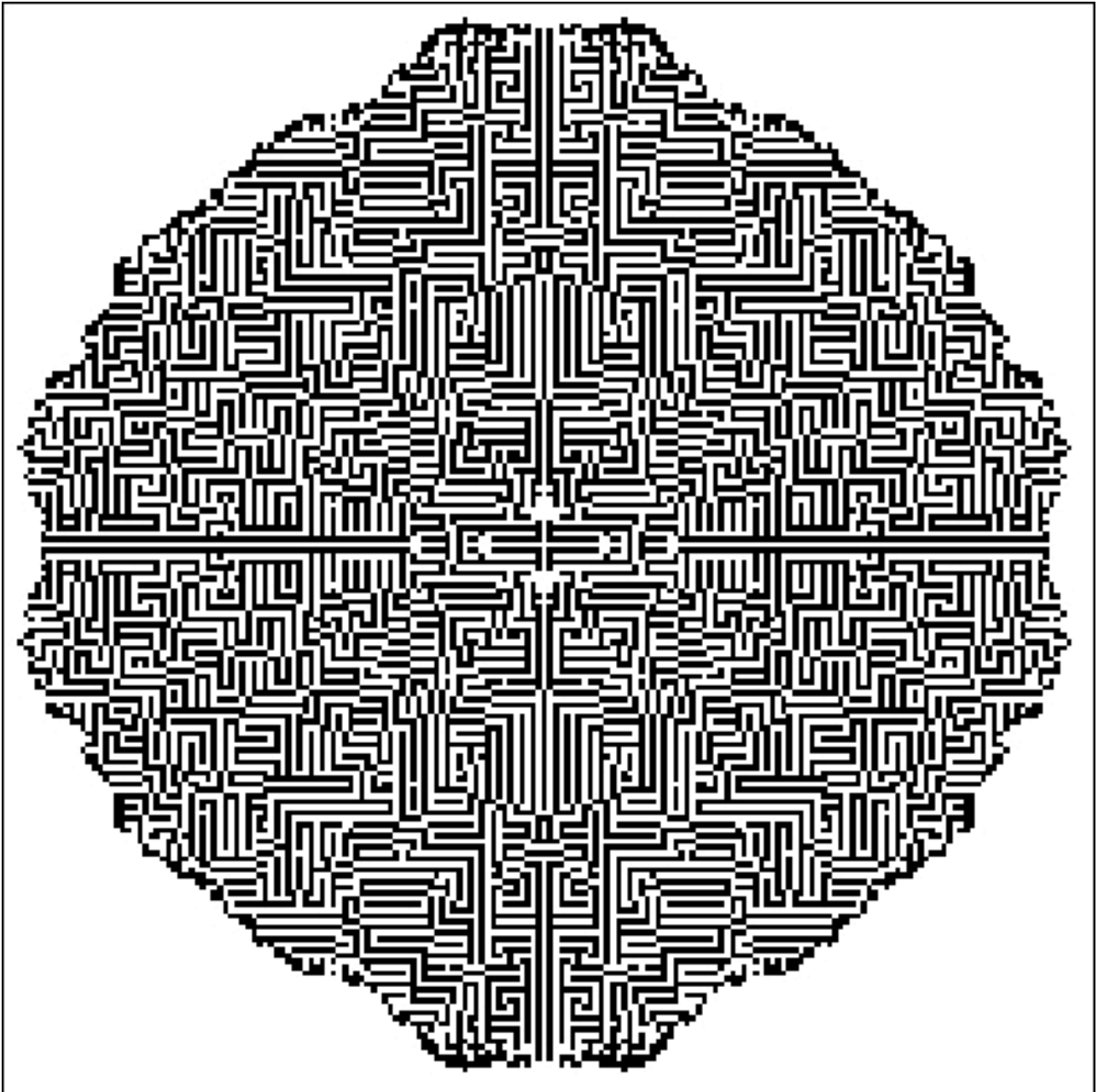
“La universalitat de la computació és el concepte més profund de l'univers” diu Deutsch. “L'univers no és un programa executant-se en algun altre lloc. N'és l'ordinador universal, i no hi ha res defora”. Aquesta afirmació pot semblar poc fonamentada, però això es deu a que va en contra de les opinions establertes. Els arguments de Deutsch són innovadors, però no es poden simplement desqualificar, car només el futur dirà si els models computacionals són la millor manera de descriure l'univers. Si les nocions computacionals acaben essent necessàries en física, en biologia i en psicologia, potser cal sospitar que hi ha quelcom de profund.

El llibre probablement més agosarat és *The Physics of Immortality*, l'autor del qual és el físic Frank Tipler. Tipler, que es declara ateu, presenta la hipòtesi que tots els éssers vius seran ressuscitats en “cossos virtuals” durant l'etapa final de l'univers. Segons la teoria cosmològica del “*Big Crunch*” l'univers col·lapsa tota la matèria i energia en una singularitat. En aquest procés s'assoleix una energia (gairebé) infinita i per tant (diu Tipler) una capacitat computacional (gairebé) infinita. Aquesta singularitat, el Punt Omega, tindria la potència per simular, amb precisió, tota la història de l'univers. Per bé que no comparteixo la hipòtesi d'en Tipler (el *Big Crunch* és poc versemblant per la cosmologia actual³), serveix per fer palès que el model de l'univers computacional és un paradigma radicalment nou, les conseqüències del qual són molt intrigants i encara romanen per explorar.

En aquest context es publica *A New Kind of Science (ANKS)*, un voluminós llibre que Stephen Wolfram s'autoedita, curtcircuitant així el mecanisme establert per a les publicacions científiques i generant la primera polèmica. El punt central del ANKS és, al meu veure, és l'afirmació que la ciència necessita noves maneres de fer *models de la realitat*. En física (i per extensió en gran part de la ciència) es considera que fer models de la realitat és sinònim de descriure la realitat mitjançant *equacions*. Wolfram argumenta que certs fenòmens, en especial aquells fenòmens on hi ha “emergència de noves propietats”, no s'han trobat ni es trobaran models analítics.

La seva proposta és que cal fer models computacionals, en concret que cal usar autòmats cel·lulars (AC). Gran part del ANKS es dedica a demostrar això amb un gran nombre d'exemples que mostren quins fenòmens es poden modelar amb autòmats cel·lulars.

³ Els models cosmològics actuals proposen un univers en expansió contínua, descartant la massa necessària per invertir l'expansió i arribar a la implosió que marcaria el final d'un univers cíclic. Aquests models tenen el problema que necessiten l'existència de la massa fosca (força antigravitatòria) per explicar l'expansió mesurada. A més, l'univers no cíclic fa entrar en cosmologia l'aporia de la creació (qui/que va crear l'univers, què hi havia a l'instant zero). Paul Steinhardt ha proposat un model basat en supercordes que reconcilia l'univers cíclic amb l'expansió de l'univers tal com s'observa avui; hi ha una entrevista força entenedora a <http://www.edge.org/3rd_culture>.



Els fenòmens més interessants d'ANKS provenen de la Regla 110 (i unes altres tres regles que en són equivalents). Els AC fàcilment produeixen uns patrons que són o bé molt repetitius (Classe 1) o bé molt aleatoris (Classe 2). Les regles de Classe 3 són més interessants: es generen patrons, e.g. com triangles, a partir de formes aleatòries. Els automats de Classe 4 (dels quals la regla 110 n'és paradigmàtica) produeixen formes sorprenentment complexes que no es repeteixen. Les formes no són regulars ni del tot aleatòries, i tampoc no són predictibles. Aquests són els automats que han mantingut Wolfram treballant-hi durant una dècada. ANKS dóna exemples a bastament: els dibuixos en la pigmentació de la pell en animals, les formes i marques en closques i conquilles, i els patrons de turbulència (com el fum en l'aire).

Wolfram presenta l'univers com una gran xarxa de nodes. Aquests nodes no "existeixen" dins l'"espai", ans l'espai que percebem és el resultat de les contínues transicions d'estats en els nodes de la xarxa. Així, les *ones* i les *partícules* que

semblen moure's en l'espai són "propagacions cel·lulars", patrons que avancen per la xarxa a cada cicle de càlcul. Qui hagi jugat al Joc de la Vida, de John Conway, recordarà aquestes propagacions com patrons i formes que lliscaven suaument per l'escaquera del Game of Life.

Ray Kurzweil, autor de *The Age of Intelligent Machines*, n'és convençut. Kurzweil es demana si els AC poden realment modelar tota classe de fenòmens complexos com assegura Wolfram. La pregunta que Kurzweil es posa és aquesta: Quina és la classe de complexitat dels resultats dels autòmats de Classe 4? És a dir, poden aquest ACs evolucionar fins tenir quelcom similar a insectes? Poden jugar a escacs? O bé tenen un límit de complexitat que no poden ultrapassar? Kurzweil accepta una idea important, per bé que Wolfram no sigui l'únic que la defensa, i és la idea que mecanismes senzills poden generar formes i processos complexos. Així, la forma d'un floc de neu es pot veure com el resultat d'un procés molecular de característiques computacionals. La hipòtesi de la Societat de la Ment, de M. Minsky, per exemple, és una altra proposta que explica la creació d'un fenomen complex com la menta a partir de les interaccions d'elements més simples. Tanmateix, Kurzweil pensa que Wolfram sobreestima la potència dels autòmats cel·lulars.

La resposta d'en Wolfram a aquest argument s'explica ja ANKS, i és el principi de l'equivalència entre calculadors universals. D'una banda, sabem que totes les màquines d'estat finit són equivalents; d'altra banda, l'univers és finit en tots els models físics i cosmològics. D'aquí s'en dedueix que l'univers (o els seus models computacionals) són dins la classe d'equivalència dels autòmats d'estat finit⁴. Wolfram demostra de fet que la Regla 110 dels Autòmats Cel·lulars té la capacitat de càlcul universal (donada una codificació adient). El capítol d'ANKS sobre computació és realment fascinant, i la relació que s'hi estableix dels ACs amb les màquines de Turing i el lambda-càlcul és, en el meu coneixement, absolutament nova.

Hi ha encara un factor amagat en la relació que estem discutint entre la física i la computació. Aquest factor és la hipòtesi que l'univers físic és en la seva realitat última *discret* (digital) i no continu. La història de la física en va plena d'exemples de fenòmens modelats com continus ha acabat essent de natura discreta. La física quàntica es basa en la noció que l'energia no és una mesura contínua ans discreta (és un múltiple enter dels *quanta*). La dualitat ona/partícula es deu a aquest fet: tots els camps de força es modelen per les partícules associades (com els fotons pels camps EM), i les partícules posseeixen una quantitat discreta d'energia.

Edward Fredkin, físic de la universitat de Boston, ha treballat amb la idea de definir una física totalment atòmica, és a dir un la hipòtesi d'un univers finit i discret (és a

⁴ La màquina de Turing (i l'autòmat de pila) suposen una memòria infinita (cinta o pila), de manera que són abstraccions no realitzables físicament. Per tant, la màquina de Turing és simplement una idealització útil quan se suposa la memòria com un recurs inexhaurible.

dir sense mesures contínues). Fredkin, en considerar totes les quantitats mesurables del temps i l'espai discretes i finites, arriba a un model on tots els sistemes poden sempre representar-se amb nombres enters. Hom sap que hi ha dos models matemàtics per sistemes d'enters: l'anàlisi diofàntica (la matemàtica dels enters) i la teoria d'autòmats (la matemàtica dels processos discrets). Des d'aquest punt de vista, les equacions diferencials típiques dels models físics potser no són el millor llenguatge formal que es pot utilitzar. Fredkin proposa la teoria d'autòmats com un millor formalisme per modelar la realitat física. De fet, les formules i lleis dels sistemes dinàmics poden transformar-se en algorismes que són models aproximats dels sistemes continus.

Per tant, si l'univers no és continu sinó que és discret, els models computacionals serien més naturals i adients. Si això és cert, què pot impedir dir no tan sols que l'univers *sembla* (o *és com*) un ordinador, ans que l'univers *és* un ordinador? Fredkin considera les dues assercions com equivalents: si l'univers actua sempre com si fos un ordinador, quin sentit té dir que no és un ordinador?

El genoma humà seqüenciat equival a uns 3 gigabytes de dades que representen la informació més important del cos humà. Per tant el nostre ADN hi cabria en uns 4 discs compactes. Hi haurà un codi subjacent de l'univers físic? Si l'univers és finit i discret, podria ser, i Stephen Wolfram apostaria que és un autòmat cel·lular.

Referències

Stephen Wolfram

A New Kind of Science.

Wolfram Media Inc (2002)

<http://www.wolframscience.com>

David Deutsch (1997)

The Fabric of Reality

Publisher Allen Lane, The Penguin Press

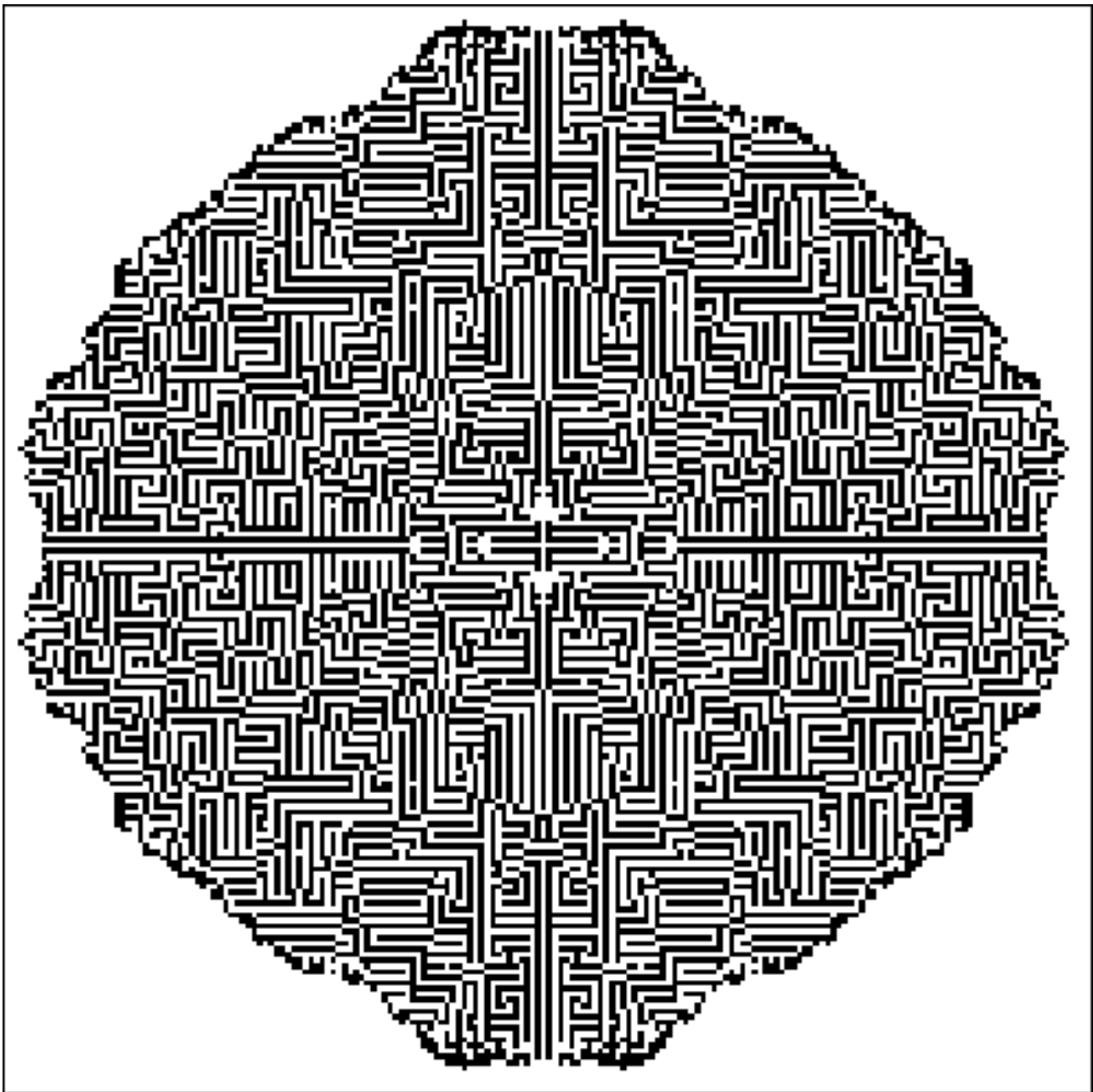
<http://www.qubit.org/people/david/David.html>

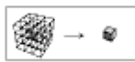
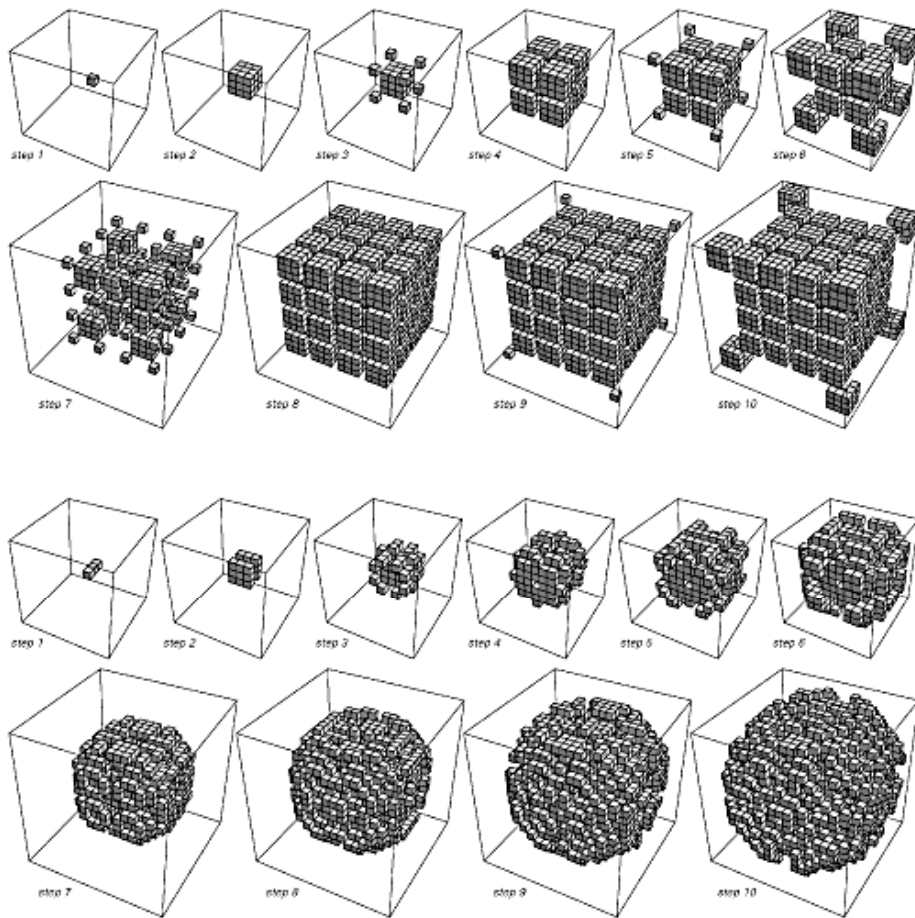
Edward Fredkin

<http://www.digitalphilosophy.org>

The Edge Foundation

<http://www.edge.org>





Further examples of three-dimensional cellular automata, but now with rules that depend on all 26 neighbors that share either a face or a corner with a particular cell. In the top pictures, the rule specifies that a cell should become black when exactly one of its 26 neighbors was black on the step before. In the bottom pictures, the rule specifies that a cell should become black only when exactly two of its 26 neighbors were black on the step before. In the top pictures, the initial condition contains a single black cell; in the bottom pictures, it contains a line of three black cells.