

## **Programació i Evolució.**

A la nostra vida hi ha moltes coses programades; algunes les programem nosaltres, els individus de la humanitat: tenim els programes polítics, els programes per a la construcció d'automòbils, el programa de vacances, els programes d'espectacles, els programes de cursos i titulacions a les universitats, etc..

Altres programes ja no depenen de nosaltres, sinó que determinen el funcionament del món, com poden ser les conseqüències de la ciència.

De fet pot haver-hi algú tan determinista que digui que tot ja està programat (recordem el "disseny intel·ligent"), i que per tant ja no tenim res a programar els humans: és una il·lusió. Algunes religions ja s'hi acosten a aquesta visió: hi ha un ser omnipotent que ho decideix tot. I sigui com sigui, tot i acceptant la física determinista, ja em costa, ja, dir que jo no decideixo res.

Entre els primers programes, els que fem nosaltres, hi ha el funcionament dels ordinadors, en que el que passa està determinat per un programa de manera lògica i determinada. Entre els segons ens trobem amb els processos evolutius en el que els canvis i la supervivència juguen un paper. D'entre aquests processos vull destacar l'evolució biològica, la configuració del cervell i el funcionament de la societat.

### **Els ordinadors**

De quina manera està determinada l'operació d'un ordinador?  
L'ordinador en l'arquitectura de Von Neumann té una unitat de control, una unitat aritmètica, una memòria, un mecanisme d'entrada i un mecanisme de sortida. Nosaltres hi introduïm les dades en forma de tirallongues de zeros i uns, que vol dir voltatge o no voltatge a l'entrada de les comportes lògiques, i els diferents elements de la màquina les processen, segons siguin instruccions o dades, i envien els resultats a la sortida. Tot això ho fan de manera sincronitzada (per un rellotge). Les comportes lògiques, que són bàsicament transistors i ara estan encabits en xips, poden, com el nom indica, efectuar totes les operacions de la nostra lògica formal, i les operacions aritmètiques.

Aquí tenim la correspondència entre les funcions de les comportes d'un ordinador i la lògica proposicional:

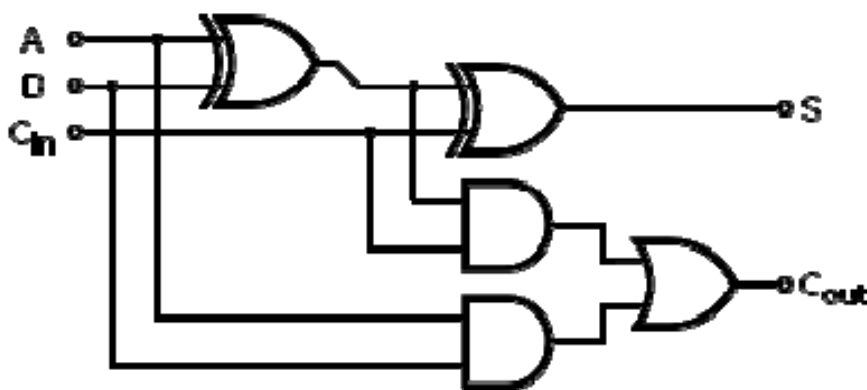
<i>INPUT</i>	A	0	0	1	1	Meaning
	B	0	1	0	1	
<i>OUTPUT</i>	FALSE	0	0	0	0	Whatever <i>A</i> and <i>B</i> , the output is false. <a href="#">Contradiction</a> .
	A AND B	0	0	0	1	Output is true if and only if ( <a href="#">iff</a> ) both <i>A</i> and <i>B</i> are true.
	$A \nrightarrow B$	0	0	1	0	<i>A</i> <a href="#">doesn't imply</a> <i>B</i> . True iff <i>A</i> but not <i>B</i> .
	A	0	0	1	1	True whenever <i>A</i> is true.
	$A \nleftarrow B$	0	1	0	0	<i>A</i> <a href="#">is not implied by</a> <i>B</i> . True iff not <i>A</i> but <i>B</i> .
	B	0	1	0	1	True whenever <i>B</i> is true.
	A XOR B	0	1	1	0	True iff <i>A</i> is not equal to <i>B</i> .
	A OR B	0	1	1	1	True iff <i>A</i> is true, or <i>B</i> is true, or both.
	A NOR B	1	0	0	0	True iff neither <i>A</i> nor <i>B</i> .
	A XNOR B	1	0	0	1	True iff <i>A</i> is equal to <i>B</i> .
	NOT B	1	0	1	0	True iff <i>B</i> is false.
	$A \leftarrow B$	1	0	1	1	<i>A</i> <a href="#">is implied by</a> <i>B</i> . False if not <i>A</i> but <i>B</i> , otherwise true.

NOT A	1	1	0	0	True iff A is false.
$A \rightarrow B$	1	1	0	1	A <a href="#">implies</a> B. False if A but not B, otherwise true.
A NAND B	1	1	1	0	A and B are not both true.
TRUE	1	1	1	1	Whatever A and B, the output is true. <a href="#">Tautology</a> .

No deixa de ser curiós que la lògica que tenim al cap es correspongui amb les setze funcions de la lògica proposicional que poden realitzar les comportes d'un ordinador.

A partir d'aquestes comportes (de fet n'hi ha prou amb el NAND, el "Sheffer stroke" o amb el NOR), es poden programar totes les accions d'un ordinador digital

Per exemple, amb dues comportes NOR, dues AND i una OR es pot fer l'addició de dos dígit



Posant en cascada aquests elements podem fer qualsevol suma

La matemàtica deductiva, la dels teoremes i les demostracions, s'assembla força a un programa d'ordinador: està programada. A partir d'uns axiomes (o postulats) anem deduïnt proposicions d'acord amb les regles de la lògica proposicional. Tot i això, a la lògica proposicional basada en uns axiomes, hi hauran proposicions que no es podran deduir mitjançant una cadena lògica a partir dels axiomes inicials, tot i sent vertaderes (Gödel).

Per altra banda pensem que no totes les operacions en matemàtiques es poden reduir a un fórmula; per exemple trobar l'arrel cinquena d'un número o bé trobar les arrels d'una equació de 5è grau, encara que si que ho podem fer per aproximacions successives d'una manera tan aproximada com vulguem.

Molts processos estan programats o són programables, encara que el programa no es realitza d'una manera precisa degut a intervencions externes. De fet els mateixos ordinadors experimenten canvis no programats degut a pertorbacions del seu sistema. Per exemple els processos tecnològics, com pot ser la producció industrial estan programats i els resultats no s'aparten gaire del que s'ha planejat.

## **La reproducció dels sers vius i l'evolució darwiniana**

El DNA conté un programa que permet que les característiques dels descendents estiguin determinades pels genomes dels seus progenitors. No sabem gaire encara com funciona aquest programa. El desenvolupament embrionari, la morfogènesi dels sers vius, és com el muntatge d'un puzle on les peces són les proteïnes que es van sintetitzant sota la direcció del genoma. La veritat però és que no és gaire precís; a cada estona hi ha mutacions que canvien una cosa o altre. I aquestes mutacions no solen estar-ne, de programades. Tot i això els fills s'assemblen als seus pares i hi ha bessons quasi indistingibles.

Hi ha diversos intents d'explicar com es porta a terme la morfogènesi dels sers vius a partir del genoma. No és gens senzill, i tot i que hi ha milers de científics intentant-ho i obtenint bons resultats, encara falta molt per a tenir-ho prou clar.

Alan Turing, a més d'inventar la seva màquina universal, l'abstracció del nostre ordinador, també va proposar un model matemàtic per a explicar un tipus de morfogènesi. El model matemàtic és el de les equacions de reacció i difusió, com la següent:

$$\partial_t u(x,t) = f(u(x,t)) + d\Delta_x u(x,t),$$

on  $x$  representa les coordenades de posició en un domini acotat, que és el reactor,  $u(x,t)$  el vector dels diferents reactants implicats,  $f$  la taxa de reacció entre els diferents reactants i les components de  $d$  representen els factors de difusió dels diferents reactants. A més cal posar la condició de Neumann  $u_n = 0$ , que ens diu que els reactants no s'escapen del reactor.

Aquest sistema d'equacions pot tenir solucions  $u(x,t)$  d'equilibri, és a dir que no depenen de  $t$ . Per exemple si  $u$  no depèn ni de  $x$  ni de  $t$ , és a

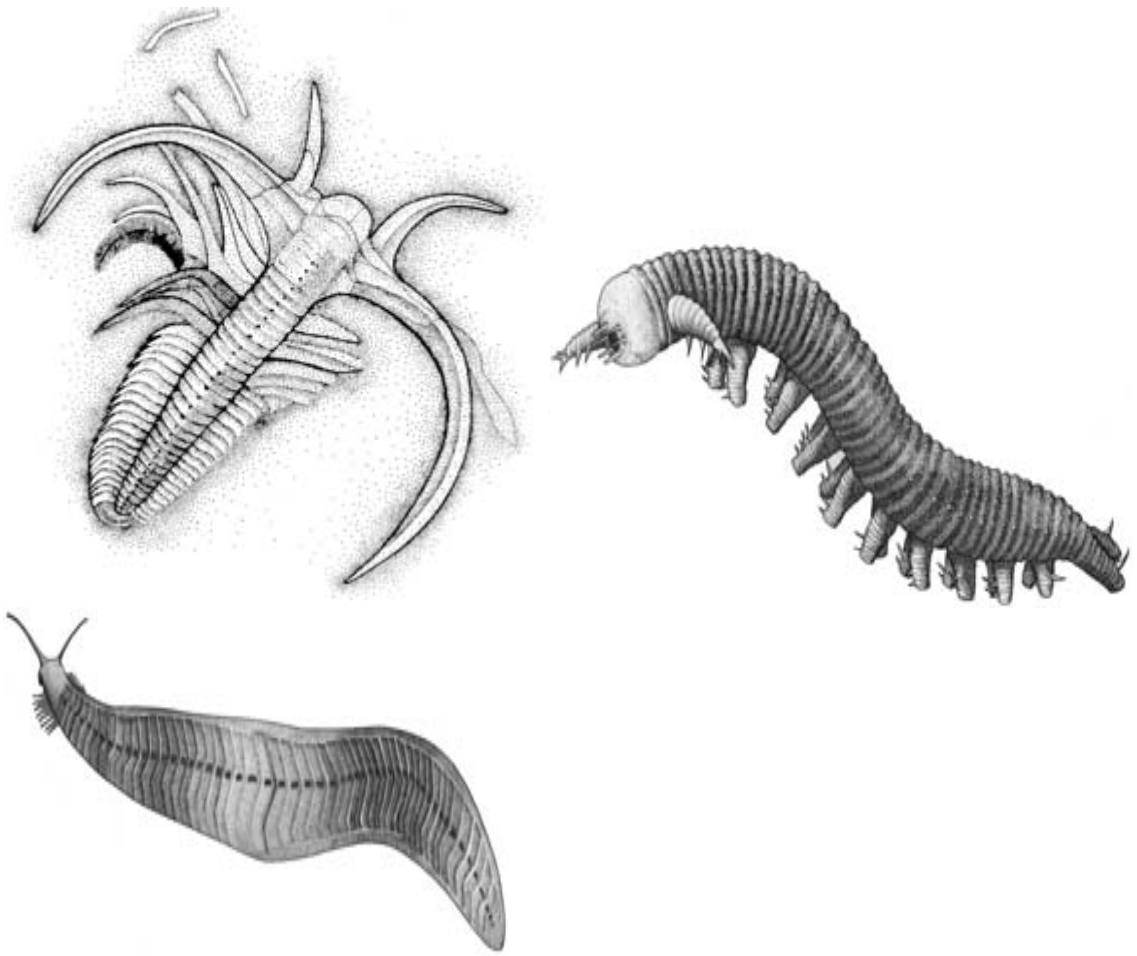
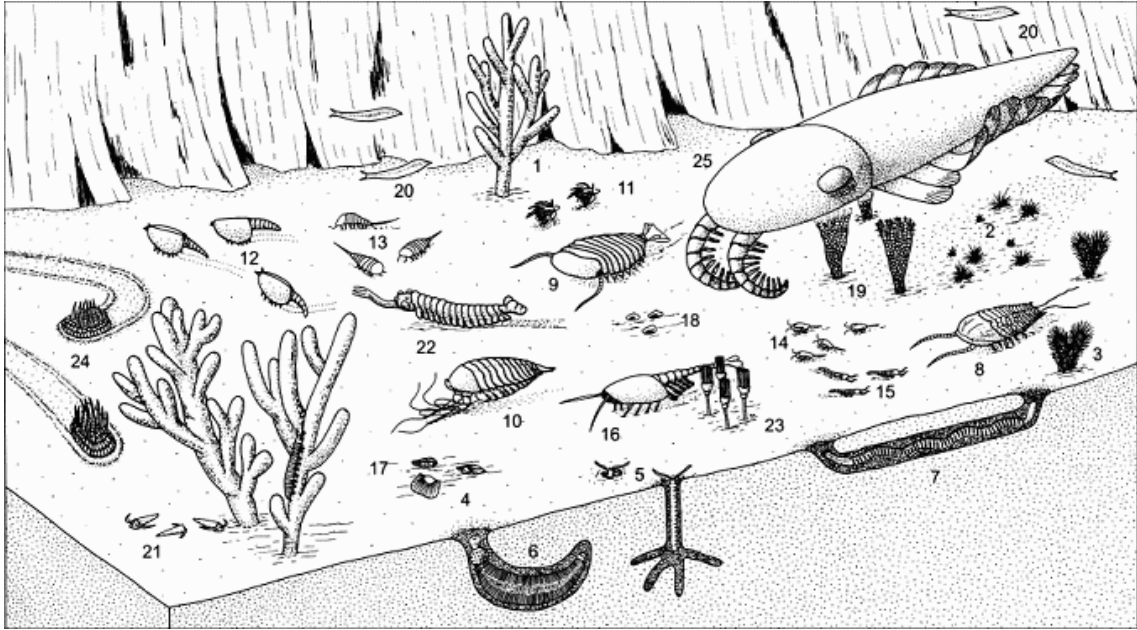
dir és constant a l'espai i el temps i a més  $f(u) = 0$ , llavors les concentracions són estacionàries i homogènies; no canvien ni en el temps ni en l'espai. Ara bé, aquest equilibri pot ser inestable i que una petita modificació del valors de les concentracions les facin tendir a distribucions diferents. De fet si tenim unes concentracions constants a l'espai i el temps i estables, al modificar algun paràmetre de l'equació, podem desestabilitzar-les, i la solució pot tendir a un altre equilibri estable, però no homogeni. Això està a la base de la morfogènesi que estudiava l'Alan Turing.

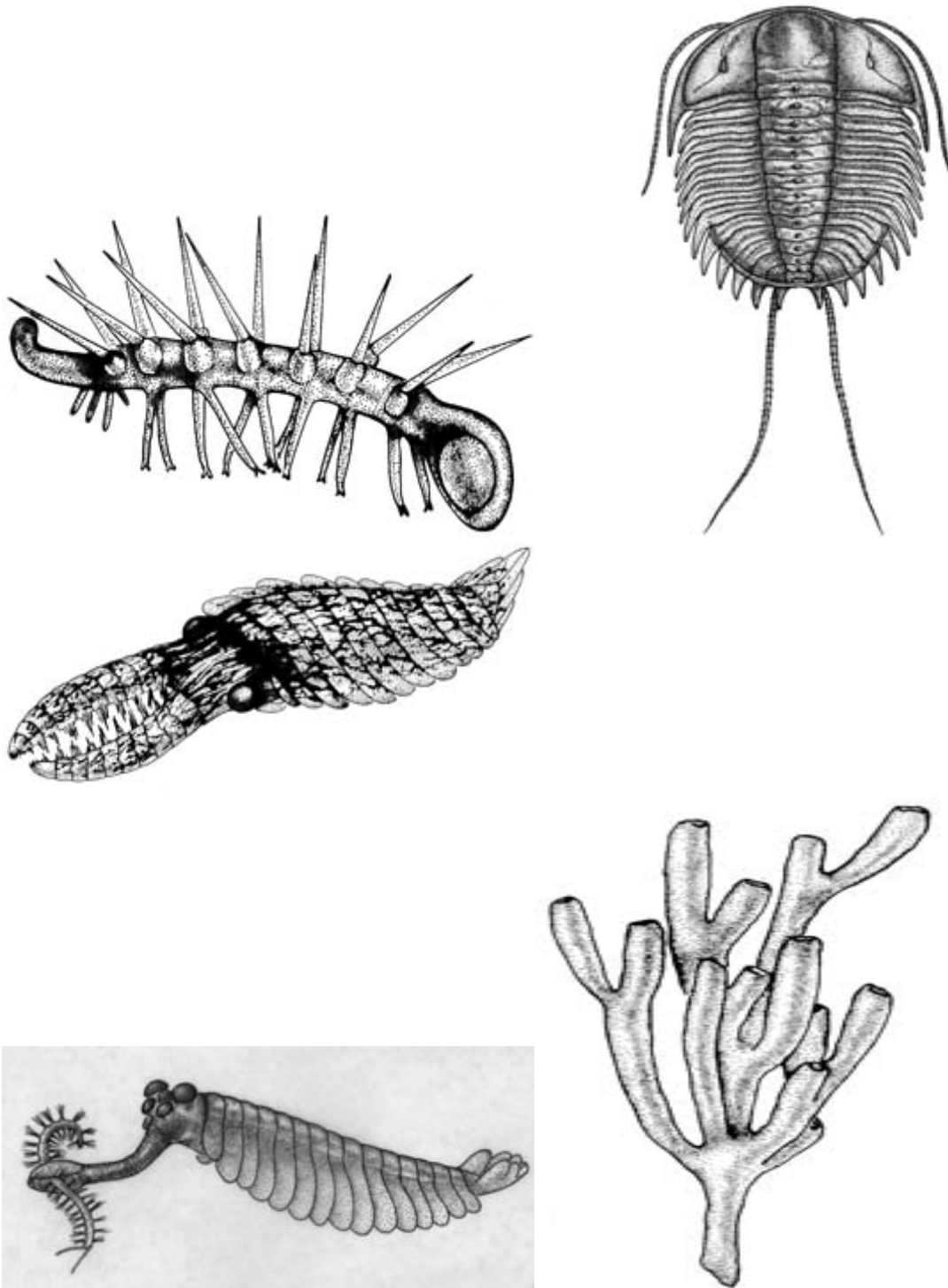
Passa però que és un model vàlid per a reaccions químiques en un recipient, però que no serveix per a la divisió cel·lular perquè en aquesta hi han massa elements, diguem-ne, mecànics.

Amb la mutació i selecció natural (és a dir, ecològica) és la responsable de la diversitat dels sers vius. Si el que es reproduïx, és a dir, es replica, i si la successió ininterrompuda de rèpliques no és necessàriament precisa, hi ha evolució. L'evolució dels sers vius es caracteritza per la mutació genòmica i per tant els canvis en el fenotip. Els organismes han de poder sobreviure amb els recursos a l'abast fins a la reproducció, d'altre manera es queda sense descendència. Els recursos són generalment escassos pel creixement de totes les poblacions de sers vius que, per altre banda, si no fos així creixerien exponencialment (Malthus). Algunes de les mutacions poden donar avantatges per a l'aprofitament dels recursos, el que va en contra dels que no les han sofertes (o disfrutat?), que poden arribar a desaparèixer.

El organismes que aconsegueixen reproduir-se més són els que tindran les seves característiques transmeses a la seva progènie i disminuiran els recursos per als altres. Amb aquest procés s'han anat diversificant els organismes vius, i han sobreviscut aquells que han adquirit, per un seguit de mutacions l'avantatge competitiu per als recursos. Com a resultat d'aquest procés hem aparegut nosaltres.

Els organismes vius van aparèixer fa uns 3500 milions d'anys, és a dir no gaire més tard de que la Terra fos formada. Al principi els organismes vius eren procariòtics, és a dir, cèl·lules sense nucli i més tard, per simbiosi, van aparèixer els eucariòtids i amb ells els pluricel·lulars, al mateix temps que l'atmosfera s'enriquia d'oxigen gràcies a alguns d'aquests organismes. En particular va aparèixer la simetria dreta esquerra dels organismes i la disposició en segments, que han facilitat la reproducció dels gens *hox*. Hi ha qui diu que la urbilatèria, organisme teòric que tipifica l'aparició de la simetria bilateral, de farà uns 600 milions d'anys, al càmbric, és la progenitora de tots els animals! Es va produir una vertadera explosió de tipologies animals. A les "Burgess Shales" al Canadà es troba un registre fòssil d'una enorme diversificació, de la descendència d'aquests organismes en relativament poc temps.





Com fer-s'ho per a modelar l'evolució? O d'altre manera: Com funciona l'evolució? En un model en que el món funcionés determinísticament i coneguéssim les mutacions possibles i quin efecte tenen en el món ecològic, és a dir per a la supervivència de la població en la competència per a aprofitar els recursos, podríem determinar quin seria el seu esdevenidor. Però si admetem que algun element en el sistema pot prendre decisions no programades (les espècies transgèniques inventades per l'home, per exemple) els canvis són impredecibles, i fa

impossible a la pràctica el pronosticar l'evolució de la població, de manera que per a retratar amb un model matemàtic el mecanisme evolutiu hem de fer una simplificació que no ens permet fer prediccions (és més complicat que la meteorologia!), encara que ens fa un esquema racional de com funciona.

La complicació del mecanisme evolutiu és enorme i voler-ne fer un model matemàtic precís és massa ambiciós, però la matemàtica pot fer-ne models simples que permetin entendre com funciona el procés d'una manera una mica més precisa que anant movent les mans. Per a fer possible el seu tractament matemàtic (fins a poder posar les equacions en un programa d'ordinador!), considerem poblacions homogènies excepte per alguns trets (en diem evolutius), que experimenten canvis hereditaris, mutacions. Com que en general no sabem quins són aquests canvis; de fet, ni quins poden ser, donem una certa probabilitat (la nostra arma contra el desconeixement dels detalls). I llavors establim el sistema d'equacions diferencials, generalment amb derivades parcials, termes integrals i fins i tot amb retard en el temps degut a processos que necessiten un temps per a manifestar-se, equacions que ens diuen cap on evoluciona el sistema ecològic que estem estudiant: quines poblacions amb quins trets sobreviuran i quines s'extingiran.

En la modelització matemàtica del procés evolutiu dels sers vius hi veiem els següents factors, que poden dependre tots ells de la característica mutable que estem considerant, dels recursos de subsistència i també d'altres poblacions, ja sigui per competència pels recursos o perquè els destrueixin directament.

- Un terme que retrati la fertilitat dels individus, és a dir quants individus neixen de cada individu per unitat de temps
- Un terme que retrati les defuncions
- Un terme que retrati les mutacions
- Un terme que retrati la competència (disminuint la fertilitat, augmentant la mortalitat)
- Un terme que retrati la depredació

Posem per cas que per  $u(x,t)$  designem la densitat de població d'individus que tenen una característica evolutiva de valor  $x$  entre 0 i 1 en el moment  $t$ . Suposem que la població es modifica a través de la reproducció i la mort, i que aquests dos factors depenen de la característica  $x$ . Denotem per  $f(u(x,t))$  la taxa instantània de creixement de la població de característica  $x$  deguda a la reproducció i a la mort, depenent dels recursos, i per tant també de la població pròpia i de la dels competidors, i per  $\partial_{xx}u(x,t)$  la derivada parcial de segon ordre de  $u(x,t)$  respecte de  $x$ . Aquest darrer terme multiplicat per un coeficient  $d$  representa la difusió de la característica  $x$ , és a dir, la mutació en la següent equació de la taxa de creixement de  $u$ :



$$\partial_t u(x,t) = f(u(x,t)) + d\partial_{xx}u(x,t)$$

Segons quina sigui  $f$  això evolucionarà i potser tendirà a una distribució de la població estacionària.

Observem que aquesta evolució està programada, tot els termes estan determinats pel valor inicial de  $u(x,t)$ , tot i que sembla que això de la difusió sona a desconeixement amb precisió del que passa, sona a termodinàmica. Això no sona massa darwinià!

En un model vertaderament darwinià hauríem de substituir el terme de difusió per un terme de mutació atzarós, dins de les possibilitats, és clar, del sistema genètic.

Un intent consisteix en substituir el terme de difusió per un terme més aleatori. El terme podria ser del tipus  $\int k(x,y)u(y,t)dy$ , en el que  $k$  ens diu quina és la probabilitat d'una mutació que porti la característica  $y$  a la característica  $x$ . Però si donem  $k$  ja hem determinat el sistema! Estem igual que abans, ja hem determinat l'evolució. El que passa però és que no coneixem l'evolució del cert, sinó certa probabilitat de que així sigui!

També ens falta tenir en compte com  $f$  depèn dels recursos a l'abast, que al seu torn depenen de la població, o de les poblacions que en depenen i també falta tenir en compte la possible depredació.

Certament, si es té en compte més d'una població o més d'una característica les equacions es compliquen. Per exemple això passaria si aparegués una nova característica genètica rellevant per una mutació puntual que canviés radicalment les equacions o afegint-ne una altra.

El problema d'aquest mètode és que en la pràctica es fa pràcticament impossible conèixer les possibles mutacions i les seves probabilitats i com influeix el medi en el procés.

No podem admetre-hi massa actors, ni podem tenir en compte com influeix, en detall, el medi en el procés. I per descomptat no sabem quines són les possibles mutacions ni què faran., fins i tot si ens referim a una sola característica numèrica, de la qual no sabem gaire bé quina probabilitat té de modificar-se ni cap a on pot fer-ho.

En fi que aquests models no serveixen per a predir, sinó per a fer un retrat de com funcionen les mutacions més senzilles. Hi han exemples de control de bacteris amb virus en els que les mutacions són simples i es poden extreure resultats del model matemàtic.

Però, vaja, al menys tenim un exemple de com funciona un procés evolutiu, i de com fa possible que s'imposin característiques mudades (mudades?), i això mentre hi hagi vida. I tenim també un mecanisme que correspon a la nostre experiència viscuda, de com no cal que es tingui un programa per tal de que la vida rutlli. No cal un gran programador; al menys sembla que no calgui.

## **El cervell i la ment**

I pel mateix sistema ens trobem que la formació del cervell entra en el programa morfogenètic, i així és en gran part: tenim instints i gustos heretats genèticament, però el programa no es compleix estrictament, podríem dir que condiciona el cervell per a la seva evolució. El mecanisme evolutiu no només funciona a l'ecologia: també a la ment funciona. De fet combinada amb l'evolució ecològica. Sembla clar que una ment més capaç i uns valors més adaptats a la vida en societat i a la reproducció, ajuda a la supervivència dels individus, i que és la ment de l'homo sapiens la que ha prevalgut sobre tots els primats que han quedat eliminats al seu darrera..

Però no és això al que em vull referir ara, sinó a l'evolució del cervell de cada home mentre es desenvolupa: les experiències s'entrellacen amb el mecanisme del cervell, modificant-lo. I d'aquests canvis a la xarxa neuronal s'imposen els que funcionen millor, més apropiadament. Segons l'Edelman el mecanisme darwinià va conformant el cervell i el pensament que n'ergeix. El cervell va formant la seva xarxa neuronal d'acord amb l'experiència a la que està subjecte, i va evolucionant de manera d'adaptar-se al món que el volta. Va obtenint els seus valors, els seus coneixements, el seu llenguatge, i com no, les seves manies.

El cervell es va conformant d'acord amb la seva experiència. És així com s'adquireixen els conceptes, els llenguatges, les habilitats, les manies, la ciència, les creences, els gustos.

De fet, la raó, el pensament lògic, és el producte de l'evolució del cervell, de la ment, adaptant-se a l'experiència del món, que té una lògica inherent. El llenguatge, l'enraonar, és un producte d'aquesta evolució que posa en evidència l'ús de la lògica i ens ajuda a raonar i a retratar i entendre el món. I també a comunicar-nos i permetre que la societat sigui un objecte cohesionat, gairebé com un ser viu pensant.

L'evolució de la humanitat passa per episodis que van donant avantatge als qui tenen millors sentits, millors reflexos, més força, més velocitat, més intel·ligència, més vanitat, més ambició, més parla, més coneixement. En quin ordre van apareixent i avançant aquestes traces és objecte d'estudi pels antropòlegs. És prou clar, però, que l'enraonar, la parla, és un dels factors més importants: facilita la comunicació i el pensament. Possiblement el llenguatge no va aparèixer, amb la seva

estructura actual, fins fa alguna desena de milers d'anys, però ha fet avançar l'home i el seu cervell d'una manera explosiva.

Curiosament l'Alan Turing es va ocupar de dos dels problemes que hem esmentat: un el de la morfogènesi, que volia tractar com si es degués a l'equilibri en reaccions químiques en un reactor, que serien els cossos o les cèl·lules en creixement, procés que retratava amb equacions de reacció i difusió, i l'altre el del funcionament lògic del cervell, que va culminar en la seva màquina de Turing, l'ordinador, programable. Avui sabem que els dos processos, el morfogenètic i el raonament lògic són quasi programables, però no del tot. El que a mi em resulta sorprenent és que no sent el funcionament del cervell programat, sigui capaç de raonament lògic, de construir la matemàtica i en general de tenir una màquina de Turing completa immersa en ell. Però el cervell no és una màquina de Turing. De vegades ens equivoquem! El seu funcionament és degut en part a la seva constitució morfogenètica, però també a la seva adaptació al que l'envolta.

Queda per explicar la consciència, la d'un mateix en particular, i també el lliure albir: com és que podem escollir i modificar el món amb la nostra voluntat, en contra del determinisme físic que la ciència accepta? Hi ha experiments que mostren que algunes accions es porten a terme abans de que les decidim conscientment. Què vol dir això?

En quin moment de l'evolució apareixen la consciència i l'albir?

## **La societat**

I la societat (humana o no), va heretant la manera de fer que preval en el seu medi, una herència cultural que es va modificant amb els avatars de l'existència. Per exemple les llengües, les religions, la moda...

Hi ha una programació de la societat? Per una banda tenim l'herència biològica, els diferents tipus humans, la seva variabilitat. Per l'altra banda tenim l'herència cultural, imprecisa i multivariada: no és només al cervell de les persones, sinó en els testimonis literaris, artístics, científics, històrics, etc.

Per una altra tenim la natura: el clima, la flora, la fauna, etc., de la que depenen els recursos, i per tant el comportament social. També tenim els grans canvis; la revolució industrial amb les seves conseqüències.

I tenim la competència pels recursos. Les guerres, les migracions, les fams.

Tenim però un factor estabilitzador: la imitació. Degut a la nostre limitació per a entendre algunes coses i a la necessitat de conformar el nostre coneixement, acceptem coses per adscripció: les religions, les

modes, els gustos, el sistema educatiu, les tendències polítiques, les medicines alternatives etc..

Els partits polítics, els comerciants, els indoctrinadors, s'escarrassen per a rentar-nos el cervell i que ens apuntem al seu carro. No els costa gaire: de fet la propaganda és una de les eines més efectives per a fer anar la societat. I què dir de les medicines alternatives, la pseudociència, l'astrologia i les religions per exemple.

És interessant mirar com les películes d'èxit es van assemblant les unes amb les altres per tal de respondre al gust dels espectadors: automòbils rabent, escenes amoroses, perills increïbles. I moltes, gairebé totes les vegades, sense cap respecte al coneixement ni tan sols a les possibilitats.

## **El món**

El món és com és i nosaltres hi som inserits. Sembla que es mou, que evoluciona i amb ell nosaltres. On acabarem, si acabem? I qui som "nosaltres"? Certament tenim la nostra pròpia manera de veure el món. Potser el temps i l'espai és la nostra particular manera de ser-hi. A la mecànica quàntica sembla que les "partícules" no són com nosaltres.

La darrera pregunta que ens podem fer és: de què es tracta tot plegat?

## **L'ànima de la paradoxa (o la paradoxa de l'ànima)**

I aquí ens trobem amb un problema que no sé resoldre. Per una banda la matemàtica i la física ens diuen que els processos estan determinats, i que és només deguda a la complexitat d'alguns processos que hem d'admetre la probabilitat, com en la termodinàmica i en l'economia. És clar, estic suposant que els processos de la física quàntica estan determinats, i que la incertesa de Heisenberg és només deguda a això que en diem observació, i que no sabem ben bé què és. I també estic suposant que no hi ha més factors que els de la física en el funcionament del món. La probabilitat surt, com ja hem dit, del nostre desconeixement dels detalls en situacions complexes. Bé doncs, si és així, tot està determinat encara que no sabem com: tal com diuen les religions que tenen un Déu totpoderós que ja ho ha determinat tot (però que ens diuen que ens portem bé!). Però és una mica contrari a la nostra evidència el que no puguem escollir, el suposar que tot el que fem, pensem o desitgem ja està determinat! I que així és amb tot el funcionament del món. Llavors els processos evolutius amb tot el seu mecanisme son una il·lusió? Costa admetre-ho. M'estimo més pensar que hi ha quelcom que la física encara no ha explicat i que permet que certs mecanismes puguin alterar el món, i que les coses puguin evolucionar d'acord amb aquest factor de llibertat que em sembla

indispensable. I que conté a més a més la idea de la consciència i de la consciència individual, sense la qual no hi hauria decisions ni llibertat.

Potser amb el cervell l'home està entrant al cor de la paradoxa:  
L'entendre's un mateix. És com els miralls paral·lels, que reflexen el reflexat fins a l'infinit.

## **El paper de la matemàtica**

Ens podem referir a dos escenaris: la matemàtica al món i la matemàtica al cervell.

Per una banda la matemàtica tracta de les propietats de quantitat, ordre, mesura, etc. que ens serveixen per a retratar el món. Ho fan d'una manera lògica; potser perquè el món és lògic i la matemàtica el retrata prou bé.

La matemàtica es forma al cervell d'una manera semblant a com ho fa el llenguatge: el cervell es va modificant evolutivament de manera de fixar conceptes i relacions de la manera més convenient per a poder tractar de quantitats, ordre, mesura, música, valors, llengües, filosofia, etc..

La matemàtica evoluciona en dos escenaris: el personal i el social.

En el social evoluciona per una banda com les arts, per l'estètica de l'harmonia, i per l'altre per la seva capacitat de retratar alguns aspectes del món i del seu funcionament, que fan que evolucioni ensems amb la ciència i la tècnica.