Om slumpen och evolutionen

Olle Häggström*

April 2005

1 Slump via mutationer

Darwins utvecklingslära om arternas uppkomst genom naturligt urval är numera en av naturvetenskapens mest väletablerade tankebyggnader. Det råder knappast längre någon rimlig tvivel om att det är i denna som svaret på frågan om vårt ursprung, liksom djurens och växternas, står att finna, och den genomsyrar så gott som allt modernt biologiskt tänkande. Evolutionsbiologen Theodosius Dobzhansky formulerade sig väl i en uppsatstitel från 1973 – "*Nothing in biology makes sense except in the light of evolution*" – och i själva uppsatsen fortsatte han med att konstatera att "*without that light*, [*biology*] *becomes a pile of sundry facts some of them interesting or curious but making no meaningful picture as a whole*" (ingenting i biologin är begripligt annat än i ljuset av evolutionsläran [...] utan vilken biologin blott vore en hög med osorterade fakta, några av dem intressanta men utan något som helst meningsfullt sammanhang).

Likväl uppfattas evolutionsläran i vissa – främst religiösa – kretsar som kontroversiell. Det är intressant att reflektera över vad denna motvilja mot evolutionen och de darwinistiska tankegångarna kommer sig av.

Jag tror att moståndet åtmistone till viss del har att göra med den framträdande roll som slumpen spelar i utvecklingsläran. Det är via mutationer, dvs slumpmässiga förändringar i arvsmassan, som den variation i en djur- eller växtpopulation uppkommer som krävs för att en selektionsprocess skall komma till stånd, där de individer som har den bästa och mest konkurrenskraftiga genuppsättningen tenderar att föröka sig ymnigt på mindre välanpassade individers bekostnad. Härigenom förändras populationens sammansättning i riktning mot rikligare förekomst av de egenskaper

*Institutionen för matematiska vetenskaper, Chalmers,
http://www.math.chalmers.se/~olleh/

som (för tillfället) gynnas av den aktuella miljön, och det är när denna långsamma process fortgår i generation efter generation, under årtusenden eller årmiljoner, som nya arter uppstår. De flesta mutationer är skadliga och dör snabbt ut, men en och annan råkar ha gynnsam effekt på sin bärares konkurrenskraft och har därmed chansen att fortleva och i vissa fall erövra hela populationen.

Med denna avgörande roll spelad av slumpen, så ligger det nära till hands att ifrågasätta huruvida evolutionsläran är förenlig med tanken om att det skulle finnas något mål eller syfte med människans existens på jorden – vilket får många att rygga tillbaka och söka andra förklaringar (t.ex. kreationism) till att vi finns till. Jag skall inte här ge mig in i denna teologiska diskussion, utan istället ta upp en annan konceptuell svårighet med slumpens roll i evolutionen.

Nämligen, om vi ser oss omkring i naturen med alla dess fantastiska djur- och växtarter, och inte minst hur dessa samverkar i komplicerade ekosystem, kan det synas orimligt osannolikt att allt detta skulle uppstå av en slump. Ett färgstarkt – och ofta citerat – sätt att formulera denna invändning är följande.[1]

> Tanken att blinda naturkrafter skulle kunna koppla samman de enzymer som livet är beroende av, är lika sannolik som att en tornado som blåser genom ett skrotupplag skulle åstadkomma en Boeing 747. (1)

Jag skall i denna uppsats visa hur sannolikhetsteoretiska resonemang kan komma till användning för att belysa förhållandet mellan slump och evolution. Min argumentation räcker noga taget inte till att (i sig) *bevisa* något om evolutionen, utan syftet är betydligt anspråkslösare: att ge läsaren en intuitiv förståelse för hur uppkomsten av avancerade livsformer som t.ex. vi själva kan vara förenlig med en evolution driven av slumpmässiga mutationer. Vi skall exempelvis se att ett argument som (1) i själva verket är en alltför enkel invändning för att på allvar ifrågasätta evolutionsläran.

En första matematisk analys genomförs i Avsnitt 2. Denna visar sig emellertid vid ett närmare skärskådande bygga på lite väl orealistiska antaganden, vilka gör att den leder till hårresande resultat. För att komma till rätta med detta fördjupas analysen till mer kvantitativa resonemang i Avsnitt 3 och 4, där ett tankexperiment inbegripandes portkoder används till att illustrera några av huvudpoängerna. Det speciella problemet med

[1] Citatet uppträder i många olika varianter, och brukar tillskrivas astronomen Fred Hoyle.

livets *uppkomst* (i motsats till dess därpå följande *utveckling*) kommenteras i Avsnitt 5, varefter avslutningsvis några tips till fortsatt läsning ges i Avsnitt 6.

2 Den outtröttlige slantsinglaren

När en sannolikhetsteoretiker skall börja förklara sitt ämne på nybörjarnivå, tar han eller hon ofta till exempel som slantsingling, tärningskast, pokersspel och roulettehjul – inte för att hasardspel skulle vara särskilt viktiga studieobjekt i sannolikhetsteorin (det är de *inte*), utan mer för att deras renodlade karaktär gör dem särskilt lämpade som pedagogiska exempel. Följandes denna tradition, låt mig här säga några ord om slantsingling. Vad detta har med evolutionen att göra kommer att framgå i slutet av detta avsnitt, så ha tålamod!

Med en *rättvis* slant menas en som, var gång vi singlar den, och oberoende av vad som hänt tidigare, ger `krona` eller `klave` med sannolikhet $\frac{1}{2}$ vardera.[2] Om vi nu singlar en sådan slant upprepade gånger, vad är då sannolikheten att vi förr eller senare får utfallet `krona`?

Detta får vi försöka reda ut stegvis. Sannolikheter brukar betecknas med symbolen **P** (som i engelskans *probability* eller, snarare, franskans *probabilité*), och sannolikheten för `krona` redan i första kastet ges av

$$\mathbf{P}(\texttt{krona} \text{ i första kastet}) = \tfrac{1}{2}\,,$$

eftersom slanten ju antogs vara rättvis. Nästa steg blir att beräkna

$$\mathbf{P}(\text{minst en } \texttt{krona} \text{ bland de två första kasten})\,. \tag{2}$$

Detta visar sig enklast att göra genom att först bestämma sannolikheten att så *inte* sker, dvs att de två första kasten båda ger `klave`. Den eftersökta sannolikheten (2) fås därefter genom det allmänna sambandet att sannolikheten att någon viss händelse inträffar alltid är ett minus sannolikheten att den *inte* inträffar. Sannolikheten för klave i de två första kasten ges av

$$\mathbf{P}(\text{de två första kasten ger båda } \texttt{klave}) = \tfrac{1}{2} \cdot \tfrac{1}{2} = \tfrac{1}{4}\,. \tag{3}$$

Ett sätt att inse varför (3) är rätt uträknad, är att tänka sig ett stort antal experimentatorer som var och en självständigt utför slantsinglingsexperimentet. Av dessa kommer ungefär hälften att få `klave` i sitt första kast, och

[2] I verkligheten beror sannolikheterna för `krona` respektive `klave` naturligtvis inte bara på slanten själv, utan även på hur vi går till väga när vi singlar den. Vi bortser här från dessa fysikaliska aspekter; eftersom det hela är ett tankeexperiment står det oss fritt att postulera att såväl slant som singlingsförfarande är rättvisa.

av dem kommer cirka hälften (dvs cirka en fjärdedel av hela gruppen) att få `klave` även i dett andra kastet. Av (3) drar vi sedan slutsatsen att

$$\mathbf{P}(\text{minst en } \texttt{krona} \text{ bland de två första kasten}) = 1 - \tfrac{1}{4} = \tfrac{3}{4}\,.$$

Motsvarande resonemang tillämpat på de *tre* första kasten ger

$$\mathbf{P}(\text{de tre första kasten ger alla } \texttt{klave}) = \tfrac{1}{2} \cdot \tfrac{1}{2} \cdot \tfrac{1}{2} = \tfrac{1}{8}$$

och

$$\mathbf{P}(\text{minst en } \texttt{krona} \text{ bland de tre första kasten}) = 1 - \tfrac{1}{8} = \tfrac{7}{8}\,.$$

Och mönstret börjar bli tydligt – för godtyckligt n får vi

$$\mathbf{P}(\text{de } n \text{ första kasten ger alla } \texttt{klave}) = \left(\tfrac{1}{2}\right)^n \tag{4}$$

och

$$\mathbf{P}(\text{minst en } \texttt{krona} \text{ bland de } n \text{ första kasten}) = 1 - \left(\tfrac{1}{2}\right)^n\,. \tag{5}$$

Om vi nu låter n växa obegränsat, så kommer högerledet $(\frac{1}{2})^n$ i (4) att krypa in mot 0.[3] Högerledet i (5) går således mot 1 då n växer mot ∞, och vi har därmed kommit fram till att

$$\mathbf{P}(\text{förr eller senare minst en } \texttt{krona}) = 1\,, \tag{6}$$

dvs vi kan känna oss bombsäkra på att slanten förr eller senare kommer att landa med `krona` uppåt.

För att dra mer generella slutsatser (bortom slantsingling) av ovanstående resonemang är det viktigt att notera att vi hade kunnat komma fram till slutsatsen (6) även om sannolikheten för `krona` hade varit något annat än just $\frac{1}{2}$. Antag t.ex. att vi har en rättvis *tärning* som vi kastar gång på gång, och att vi vill bestämma sannolikheten att förr eller senare få en sexa. Analogt med (4) och (5) får vi

$$\mathbf{P}(\text{ingen sexa i de } n \text{ första kasten}) = \left(\tfrac{5}{6}\right)^n$$

och

$$\mathbf{P}(\text{minst en sexa bland de } n \text{ första kasten}) = 1 - \left(\tfrac{5}{6}\right)^n\,.$$

[3] En liknelse kan kanske vara på sin plats: Om vi äter upp hälften av en kaka, därefter äter upp hälften av återstoden, och så vidare, så blir andelen kaka som återstår efter n portioner just $(\frac{1}{2})^n$. Och om vi fortsätter äta de allt mindre portionerna, så kommer i det långa loppet inte ens minsta smula att återstå av kakan.

Om vi nu låter n växa mot ∞, så kommer $(\frac{5}{6})^n$ att krypa allt närmare 0, så att

$$\mathbf{P}(\text{förr eller seanre en sexa}) = 1\,.$$

I mer allmän tappning kan slutsatsen formuleras på följande vis. Vid oberoende upprepningar av ett försök som har någon viss sannolikhet $p > 0$ att lyckas, så gäller vid n upprepningar att

$$\mathbf{P}(\text{minst ett av de } n \text{ försöken lyckas}) = 1 - (1-p)^n\,.$$

Och eftersom $(1-p)^n$ går mot 0 då $n \to \infty$, så får vi, givet ett obegränsat antal upprepningar, att

$$\mathbf{P}(\text{förr eller senare ett lyckat försök}) = 1\,, \tag{7}$$

vilket alltså gäller oavsett hur litet p är, bara det inte är 0.

Låt oss nu försöka tillämpa detta på skrotupplaget i det Darwin-skeptiska argumentet (1) i Avsnitt 1. Om argumentet (1) alls skall ha någon bäring får vi anta att alla de delar som behövs för en Boeing 747 finns på skrotupplaget. Sannolikheten att tornadon skall få varje bult och varje mutter att hamna på exakt rätt plats är naturligtvis *extremt* liten, men måhända inte riktigt 0. Antag vidare att skrotupplaget får ligga i evighet i väntan på den ena tornadon efter den andra (och att vi på något sätt förhindrat att flygplansdelarna blåser bort). Under dessa omständigheter kan vi med stöd av (7) konkludera att en jumbojet förr eller senare kommer att uppstå.

Med samma sorts resonemang och tillämpning av den generella slutsatsen (7), så kommer vi fram till att om den organiska ursoppa som världshaven bestod av för miljarder år sedan fått ligga och puttra i evighet, så hade därur förr eller senare klättrat en tvättäkta homo sapiens.

3 Hur lång tid tar det?

Inför de slutsatser om skrotupplaget och ursoppan som förra avsnittet utmynnade i väntar jag mig att läsaren invänder att dessa är – fullkomligt bisarra!

Och bisarra är de, vilket dock inte beror på något fel på det matematiska resonemanget i sig, utan på en orimlighet redan i förutsättningarna. Ty strängt taget är det ju verklighetsfrämmande att postulera att skrotupplaget eller ursoppan har *oändligt* lång tid på sig att skapa sina ”underverk”. Jorden har funnits i cirka fyra miljarder år, och förväntas finnas i ytterligare några få miljarder år. Detta är förvisso en mycket lång tidsrymd, och kan ur ett vardagligt perspektiv synas ”så gott som oändlig”. Likväl är den ändlig, något som vi inte kan bortse ifrån när tidsrymdens längd skall vägas mot den mycket låga sannolikhet som vissa av de händelser vi intresserat oss för har.

Analysen i förra avsnittet behöver därför förfinas på så vis att vi tar i beaktande hur lång tid vi kan räkna med att behöva vänta innan det första lyckade försöket inträffar. Med detta i åtanke ber jag läsaren hänga med på ännu ett tankeexperiment.

Alice är hembjuden till Bob[4], som bor i flerfamiljshus. Väl framme vid porten inser hon till sin fasa att Bob glömt ge henne portkoden. Och hans telefon är till råga på allt trasig, så Alice har ingen annan möjlighet än att börja trycka in siffror på måfå i hopp om att råka på den rätta portkoden. Hur lång tid kan hon räkna med att behöva hålla på innan hon träffar rätt?

Portkoden består av fyra siffror, så det finns $10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 = 10^4 = 10\,000$ kombinationer att välja mellan. Varje gång hon slår in fyra siffror på måfå har hon därmed en chans på 10 000 att träffa rätt, något som alltså i genomsnitt kan väntas inträffa var 10 000:e gång. Under antagandet att hon trycker in en siffra i sekunden, är förväntade tiden tills hon lyckas därmed 10 000 sekunder, dvs knappt tre timmar.[5] Naturligtvis finns en rättså stor slumpvariation i hur lång tid det tar – med lite tur träffar hon rätt inom en halvtimme, och med sämre tur kan hon få hålla på en halv dag eller mer. Med *förväntade tiden* menar vi den tid som vi räknar med att ett försök *i genomsnitt* skall ta.

Låt oss nu utvidga tankeexperimentet till situationen där portkoden inte har just fyra siffror, utan något annat antal n. Förväntade tiden till att hitta rätt portkod blir då 10^n, och det tålamod som krävs av Alice som en funktion av portkodslängden n kan illustreras med följande tabell.

[4] Traditionen (främst den anglosaxiska) påbjuder att huvudpersoner i matematiska tankeexperiment företrädesvis bör heta Alice och Bob.

[5] Behöver inte denna tid multipliceras med fyra? Det tar ju fyra sekunder att knappa in en portkod. Anledningen att vi inte multiplicerar med fyra är att om hon t.ex. börjar med att knappa in siffrorna 6 2 2 7 0 9 ..., så kommer hon först att ha knappat in koden 6227, därefter, *blott en sekund senare*, koden 2270, och en sekund senare 2709, och så vidare. Alltså en kod i sekunden (så när som på en i det långa loppet försumbar fördröjning om fyra sekunder i början).

n	tid i sekunder	$\approx$
2	100	ett par minuter
3	1000	en kvart
4	10 000	tre timmar
5	100 000	ett dygn
6	1 000 000	ett par veckor
7	10^7	tre månader
8	10^8	tre år
9	10^9	30 år
10	10^{10}	300 år
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
15	10^{15}	30 miljoner år
20	10^{20}	3000 miljarder år
100	10^{100}	$3 \cdot 10^{92}$ år
1000	10^{1000}	$3 \cdot 10^{992}$ år

Tabell 1. Förväntad tid till att hitta rätt portkod av längd n.

Vi ser alltså att medan portkodslängd $n = 4$ är ungefär vad en mycket uthållig person kan väntas klara av, så är det redan för $n = 6$ eller $n = 7$ bortom varje rim och reson att försöka sig på att hitta den rätta koden genom idogt knapptryckande.[6] Och när n ökar ytterligare så formligen exploderar tiderna: redan vid $n = 10$ förefaller det ytterst tveksamt om Alice skall lyckas ta sig in under sin livstid, och en så förhålladevis modest kodlängd som $n = 20$ resulterar i en förväntad tid som blir många gånger längre än universums ålder, som beräknas vara omkring 15 miljarder år. För att inte tala om $n = 100$, som resulterar i en tidsrymd av en helt annan (och närmast ofattbar) division.

Vi kan nu konstatera att vårt resonemang kring skrotupplaget i slutet av Avsnitt 2 i praktiken bryter samman. Om vi t.ex. tänker oss att en Boeing 747 består av 100 delar som var och en kan hamna i 100 olika positioner[7]

[6] Man kan tänka sig att ersätta ”på måfå”-tryckandet med en mer systematisk procedur som undviker att upprepa redan testade sifferkombinationer. Rätt genomfört kommer detta att halvera förväntade tiden, vilket naturligtvis är en klen tröst då den ursprungliga förväntade tiden är tre månader. Och då vi här egentligen bara är intresserade av att uppskatta ungefärliga storleksordningar, spelar det knappt någon roll alls.

[7] Detta är naturligtvis en kraftig underdrift; med mer realistiska siffror kommer vi att hamna i om möjligt ännu dystrare uppskattningar av tiden tills vi får vår efterlängtade Boeing.

varav exakt en är den rätta, så hamnar sannolikheten att en given tornado resulterar i ett färdigt flygplan kring storleksordningen $(\frac{1}{100})^{100} = \frac{1}{10^{200}}$, vilket betyder att även om skrotupplaget drabbas ev en tornado i sekunden, så blir förväntade tiden (10^{200} sekunder) så lång att universums ålder i sammanhanget framstår som en rent ut sagt löjligt kort tidsrymd.

Låt oss slutligen se vad våra senaste beräkningar säger om den organiska ursoppa i jordens barndom varur vi i Avsnitt 2 hoppades att en människa till sist skulle kravla sig upp. En människa är ju en ofantligt mycket mer komplicerad "maskin" än ett flygplan, varför vi inser att den förväntade tiden till den efterlängtade uppståndelsen ur ursoppan även den blir så lång att inga som helst rimliga astronomiska tidsskalor kommer så mycket som i närheten. Att världshaven är stora kan bidra med att förkorta den förväntade tiden med ett antal tiopotenser, men den ambitiöse läsaren kan snabbt konstatera att inte ens med detta i beaktande kommer vi ner i några rimliga tidsrymder. Vi kan allstå avfärda scenariot "spontan tillkomst av människa i ursoppan" som så mirakulöst att det inte rimligtvis kan inträffa.

4 Feedback

Ojdå! I Avsnitt 2 såg det ut som om vi hade vederlagt argumentet (1), men efter den noggrannare analysen i Avsnitt 3 ser det nu tvärtom ut som om (1) är en i högsta grad relevant och riktig invändning mot evolutionsläran. Innan detta avsnitt är till ända hoppas jag emellertid ha övertygat läsaren om att ännu en gång ändra sig angående (1).

Analysen i Avsnitt 3 förbiser nämligen viktiga aspekter av evolutionen, och den behöver därför förfinas ytterligare. Felet vi gjort i Avsnitt 3 är framför allt att vi betraktat slumpen som den *enda* mekanismen bakom evolutionen. Men som vi redan berört i Avsnitt 1 så drivs ju evolutionen av en kombination av å ena sidan slump, och å andra sidan *selektion*.

En relaterad kritik mot förra avsnittets analogi med portkoder är att den rätta koden väntas dyka upp plötsligt och mer eller mindre från ingenstans. Detta strider mot den moderna biologins bild av evolutionen som en långsam process av små steg och gradvis förändring.

För att komma till rätta med dessa tillkortakommanden i portkodsmetaforen, låt oss ändra förutsättningarna i den så att de blir mer lika den kombination av mekanismer som förmodas driva evolutionen. Tankeexperimentet blir mer relevant om vi låter Alice få successiv *feedback* om när hon är på rätt spår (på samma sätt som det natuliga urvalet selekterar bort individer med "dåliga" gener och gynnar dem med "bra"). Vi tänker oss därför att portkodsapparaten ger ifrån sig ett litet pip när Alice har fått första siffran rätt i portkoden, och därefter ett pip när hon fått de två första siffrorna rätt, och så vidare. Om den rätta portkoden t.ex. råkar vara 2396, så skulle Alices knapptryckningar kunna bli

3 6 8 2 **-pip!-** 4 2 9 2 0 2 9 2 1 2 1 2 0 2 6 2 2 2 8 2 2
2 9 2 3 **-pip!-** 7 2 3 9 **-pip!-** 0 2 3 9 9 2 3 9 4 2 3 9 1
2 3 9 8 2 3 9 4 2 3 9 0 2 3 9 3 2 3 9 2 2 3 9 9 2 3 9 7
2 3 9 6 **-pip!**

Och det gick ju ganska snabbt, åtminstone jämfört med de tre timmar som vi fann att det i genomsnitt borde ta för henne i situationen där hon inte får feedback.

Låt oss göra en matematisk beräkning av det föväntade antalet knapptryckningar Alice, hjälpt av denna feedbackmekanism, behöver göra innan hon hittar den rätta koden. För att hitta fram till rätt förstasiffra krävs i medeltal 10 knapptryckningar. För att därefter få andra siffran rätt krävs i genomsnitt 10 försök om vardera två siffror, dvs 20 knapptryckningar. Och för att få tredje respektive fjärde siffran rätt krävs i genomsnitt ytterligare 30 och 40 knapptryckningar. Förväntade totala antalet knapptryckningar innan Alice funnit den rätta koden är alltså

$$10 + 20 + 30 + 40 = 100\,,$$

vilket ju är en betydande förbättring jämfört med de 10 000 som behövdes i fallet utan feedback.

Och skillnaden blir än mer dramatisk om vi betraktar längre portkoder än dem som har längd blott $n = 4$. För godtycklig portkodslängd n ger ovanstående resonemang att förväntade antalet knapptryckningar som behövs är

$$10(1 + 2 + 3 + \cdots + n)\,,$$

ett uttryck som den som är bevandrad i seriesummationernas värld inser kan förenklas till

$$5n(n + 1)\,.$$

Med hjälp av den formeln får vi följande modifiering av Tabell 1 för fallet med feedback.

n	tid i sekunder	$\approx$
2	30	en halv minut
3	60	en minut
4	100	två minuter
5	150	$2\frac{1}{2}$ minuter
6	210	$3\frac{1}{2}$ minuter
7	280	fem minuter
8	360	sex minuter
9	450	$7\frac{1}{2}$ minuter
10	550	nio minuter
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
15	1200	20 minuter
20	2100	35 minuter
100	50 500	14 timmar
1000	5 005 000	2 månader

Tabell 2. Förväntad tid till att hitta rätt portkod av längd n, i fallet då Alice får feedback av portkodsapparaten.

Om vi jämför Tabell 2 med Tabell 1 finner vi t.ex. för $n = 20$ att det som utan feedback skulle ta en tidsrymd runt 200 gånger längre än universums ålder, klaras av i fallet med feedback på i genomsnitt en dryg halvtimme. Onekligen en dramatisk förändring![8]

Som feedback i evolutionsprocessen fungerar det naturliga urvalet, som selekterar bort de mutationer som försämrar sina bärares konkurrenskraft, och låter slumpen arbeta vidare på de lyckade mutationerna på samma sätt som Alice arbetar vidare på de inledande sifferkombinationer som visar sig gångbara.

Det är just tack vare denna dramatiska förbättring som feedbackmekanismer kan åstadkomma, som evolutionen kunnat leda fram till avancerade varelser som vi själva under de tidsrymder som jordens ålder sätter begränsningarna för. Och precis som Alice successivt hittar fram till rätt portkod, så framskrider evolutionen gradvis. Därmed inser vi att metaforen (1) med skrotupplaget och Boeingplanet är fullständigt irrelevant som beskrivning av evolutionen, ty de tornadostormar som sveper genom skrotupplaget gör det

[8] Med gängse matematisk terminologi sägs tiden växa *exponentiellt* som en funktion av n i Tabell 1, men bara *kvadratiskt* i Tabell 2.

ju fullkomligt slumpmässigt, utan någon som helst feedback eller selektionsmekanism.[9]

Av de förda resonemangen i detta avsnitt kan vi också dra följande lärdom. Det är en viktig uppgift för evolutionsbiologer att finna plausibla vägar mellan tidigare livsformer och de nuvarande, som dels innebär successiva förändringar i små steg, och som därtill har egenskapen att varje (eller nästan varje) steg innebär en förbättring av individernas överlevnadsduglighet och konkurrenskraft. Ty just det senare är ju vad som krävs för att feedbackmekanismen skall fungera. Biologin är full av intressanta exempel på sådana problem – ögats evolution är ett särskilt ofta diskuterat sådant – och kan utgöra nog så svåra forskningsproblem. Men hittills har inget sådant problem dykt upp i vilket evolutionsbiologerna kört fast och någon längre tid misslyckats med att finna rimliga utvecklingsvägar. Den dag så sker (*om* så sker!) är det dags att på allvar söka efter alternativ till evolutionsläran, men som läget ser ut idag finns inga vägande skäl att tro annat än att den på det hela taget är riktig.[10]

5 Om livets uppkomst

Resonemangen i de tre senaste avsnitten har böljat fram och tillbaka, men om läsaren fortfarande är med mig (vilket jag hoppas!) så har vi lyckats överbrygga den konceptuella svårigheten i att förena slump med utveckling av avancerade varelser, som metaforiskt lagts fram i invändningen (1).

En vanlig kritik från den som i detta läge ändå inte är nöjd med darwinismens materialistiska världsbild, är ungefär följande:

> Nåväl, detta visar måhända hur utvecklingen kan fortskrida *när väl livet uppstått.* Men hur uppstod livet? Innan så skett finns ingenting som några selektions- eller feedbackmekanismer kan verka på, och nog visar väl skrotupplagsmetaforen (1) därmed

[9] Det bör emellertid sägas att analogin mellan evolutionen och portkoderna naturligtvis också har sina begränsningar. Så t.ex. finns, då Alice söker bland olika sifferkombinationer, ett på förhand givet rätt svar – den rätta portkoden. I detta avseende är förhållandet i biologisk evolution helt annorlunda: varken när det tidigaste urcellerna utvecklades eller när våra mer sentida förfäder bland primaterna klättrade omkring i träden, fanns det någon förlaga – "så här skall en modern människa se ut" – som evolutionen strävade emot. Resultatet hade lika gärna kunnat bli något helt annat.

[10] Jag skyndar mig att tillägga att jag naturligtvis inte menar att vetenskapens nuvarande ståndpunkt om evolutionen skulle vara riktig *i alla detaljer.* Det hör ju till det vetenskapliga förhållningssättet att ständigt ifrågasätta, och inte så sällan vederlägga (åtminstone vissa aspekter av) tidigare forskningsresultat.

om inte annat att livet knappast kan ha *uppstått* genom ”blinda naturkrafter”?

Utan att gå in på den svåra frågan om hur *liv* egentligen skall definieras, kan vi konstatera att så snart en molekylstruktur med utrymme för såväl självreplikering som mutation uppstått, så finns det också utrymme för det naturliga urvalets feedbackmekanism att verka. Självreplikering har påvisats i RNA-kedjor så korta som endast ett tjugotal nukleotider.[11] För en organisk ursoppa fyllandes världshav av en volym om, säg, 10^{20} liter under en tidsrymd om, säg, 10^{16} sekunder[12], synes det utomordentligt rimligt att sådana molekyler någonstans vid något tillfälle skall råka formera sig av en ren slump.

6 Vidare läsning

Det finns en uppsjö av utmärkta populärvetenskapliga framställningar om evolutionen, i synnerhet för den som inte drar sig för att läsa även på engelska. Bland de författare som finns tillgängliga på svenska är Richard Dawkins min favorit, och hans *Den själviska genen* och *Den blinde urmakaren* hör båda till klassikerna på området. Jag vill även varmt rekommendera Daniel Dennetts *Darwin's Dangerous Idea*, som såvitt jag vet inte finns på svenska. En aktuell diskussion om evolutionslära kontra kreationism ges av Sverker Johansson i ett bidrag till den nyutkomna antologin *Vetenskap eller villfarelse*. Biologen Dan Larhammars hemsida är en annan bra källa att vända sig till i detta sammanhang.

Vad gäller populärframställningar av sannolikhetsteorin kan läsaren t.ex. vända sig till Allan Guts *Sant eller sannolikt*, eller min egen *Slumpens skördar*. För den som mer systematiskt vill tillägna sig ämnet är *Sannolikhetsteori och statistikteori med tillämpningar* av Blom m.fl. en utmärkt början.

Bibliografi

Blom, G., Enger, J., Englund, G., Grandell, J., och Holst, L. (2005) *Sannolikhetsteori och statistikteori med tillämpningar*, Studentlitteratur, Lund.

Dawkins, R. (1988) *Den blinde urmakaren*, Wahlström & Widstrand, Stockholm.

Dawkins, R. (1992) *Den själviska genen* (2:a upplagan), Prisma, Stockholm.

Dennett, D. (1995) *Darwin's Dangerous Idea*, Simon & Schuster, New York.

[11] Se Johansson (2005).

[12] Läsaren uppmuntras roa sig med att verifiera det rimliga i dessa (naturligtvis ganska grovt tillyxade) siffror.

Dobzhansky, T. (1973) Nothing in biology makes sense except in the light of evolution, *American Biology Teacher* **35**, 125–129,
`http://www.pbs.org/wgbh/evolution/library/10/2/l_102_01.html`

Gut, A. (2002) *Sant eller sannolikt*, Norstedts, Stockholm.

Häggström, O. (2004) *Slumpens skördar: strövtåg i sannolikhetsteorin*, Studentlitteratur, Lund.

Johansson, S. (2005) Är kreationismen vetenskapligt hållbar? *Vetenskap eller villfarelse* (red. J. Jerkert och S.-O. Hansson), pp. 103–116, Leopard förlag, Stockholm.

Larhammar, D. (2005) personlig hemsida, `http://www.bmc.uu.se/~danl/`