

## Hur kom våra celler till?

Anna Knöppel

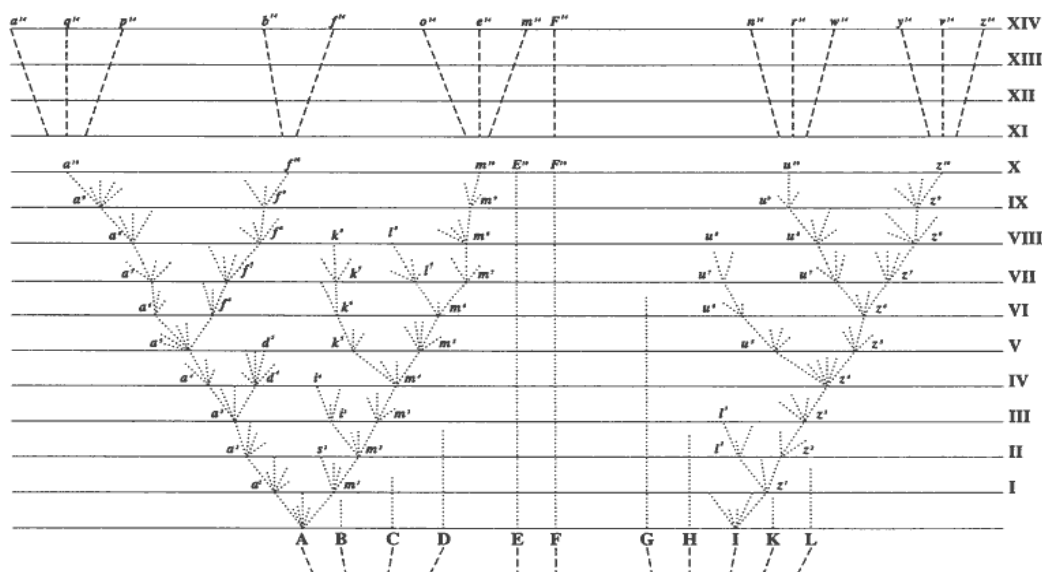
Populärvetenskaplig sammanfattning av Självständigt arbete i biologi VT 2008  
Institutionen för biologisk grundutbildning, Uppsala universitet

*Visste du att gener kan spridas för vinden? Att de kan hoppa mellan grodor och fiskar, mellan sländor och myggor, ja, till och med mellan något så vitt skilt som mellan bakterier och oss människor? Det jag talar om är ingen science fictionfilm, nej, det är helt enkelt något som forskarvärden kallar för horisontell genöverföring (eller HGÖ som det ofta förkortas med). Med hjälp av HGÖ tror vissa forskare nu att man kan förklara uppkomsten av den celltyp som du och jag delar med bland annat växter och svampar. Men HGÖ förklarar inte bara, det krånglar också till det. Ska man till exempel rita ett Livets träd så gör man bäst i att rita av till exempel ett gammalt fisknät! Detta eftersom grenarna i livets träd har växt in i varandra så till den grad att ett klassiskt släkträd inte ens är värt ett försök...*

## Hade Darwin fel?

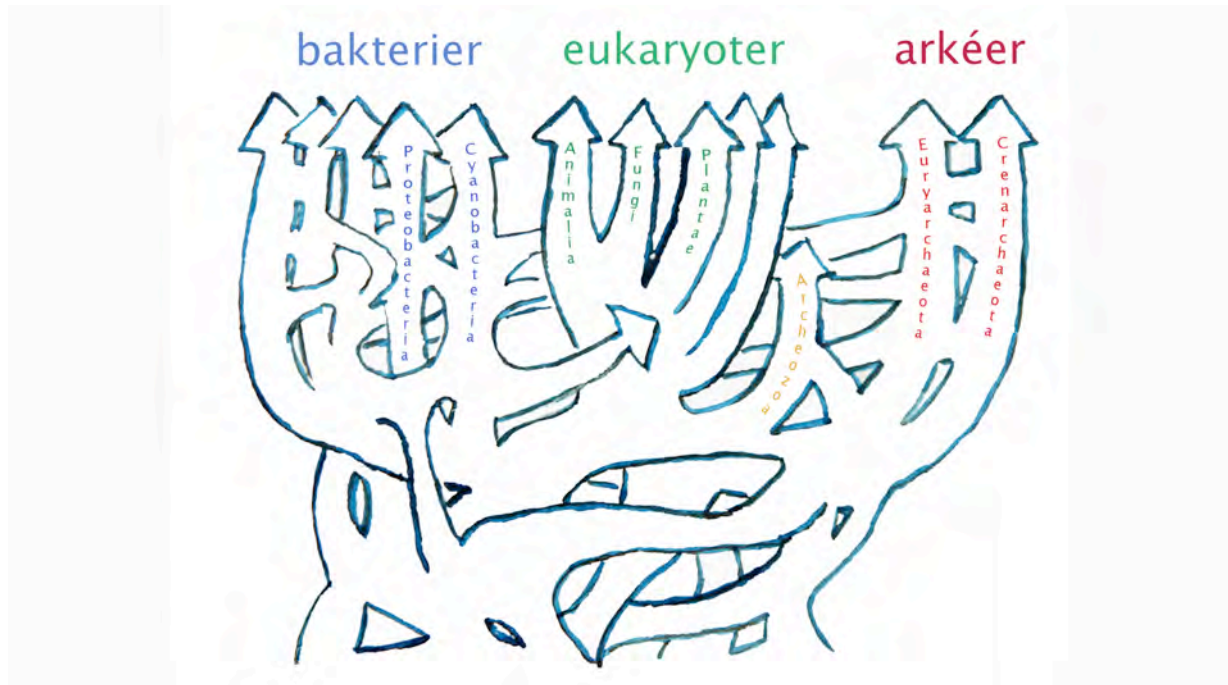
HGÖ har, till skillnad från så mycket annat inom biologin, ingenting med sex att göra. Man kan istället säga att HGÖ är raka motsatsen till sex, ja, motsatsen till kloning med för den delen vilket är något som till exempel bakterier och många växter ägnar sig mycket åt. Vid sexuell förökning och kloning så blir föräldrarna (eller "föräldern" vid kloning) logiskt nog väldigt nära släkt med sitt barn. De kommer dela 50 eller 100% av DNA:t (arvsmassan). Man brukar kalla det här sättet av förökning för vertikal genöverföring (VGÖ) eftersom DNA:t sprids rakt upp i släkträdet.

Vid HGÖ, däremot, så kan den som avger DNA med stor sannolikhet vara mycket lite släkt med den som generna kommer att hamna i. Det här strider helt mot vad Darwin på 1800-talet sa om nedärvning. Men var lugn, det är fortfarande den vertikala genöverförelsen som dominerar! I alla fall hos oss...



Det första släkträdet över hur arterna kom ritades av Darwin på 1800-talet och är den enda illustrationen i hans bok "Om arternas uppkomst" 1859. Det visar på vertikal nedärvning.

I många fall är det ett mysterium hur gener har spridits. Men gissningar finns. I fallen med grodan och fisken och spridningen för vinden som nämndes ovan så tror man att generna har förflyttat sig med hjälp av speciella virus. I andra fall har man sett att till exempel bakterier kan "äta upp" bitar av DNA och sätta in dem i det egna DNA:t, men mer om det under rubriken "Bakgrund".



Om man tar med horisontell genöverföring i beräkningarna när man gör ett "Livets träd" kommer resultatet mera se ut som ett nätverk.

## Våra cellers uppkomst

Livet på jorden är uppdelat i tre grupper av organismer inom vilka gruppmedlemmarna anses vara varandras närmaste släktingar. Dessa tre grupper kallas med ett lite finare ord för "domäner" och innefattar bakterier, arkéer (encelliga organismer som liknar bakterier men som annars har ganska lite gemensamt med dessa) och eukaryoter (endel encelliga organismer men även den absoluta majoriteten av flercelliga organismer hittas här). Genom att till exempel titta på hur DNA:t kopieras i de olika celltyperna har man kunnat visa att de tre domänerna har ett gemensamt ursprung, alltså att det liv vi nu ser på jorden uppstod en gång och inte flera. Däremot råder det stora stridigheter angående hur de tre domänerna är släkt i förhållande till varandra. Det är till exempel inte alls självklart var man ska placera roten till Livets träd. Den kanske största obesvarade frågan av de alla är: Hur uppstod den eukaryota cellen? Det här är en mycket intressant fråga eftersom det var när den eukaryota cellen först kom som livet på jorden verkligen kunde ta fart. Den gjorde det möjligt för avancerade flercelliga organismer att bildas vilka snabbt koloniserade näst intill varenda liten nisch på jorden.

Teorierna kring uppkomsten av den eukaryota cellen är till synes lika många som antalet forskare som forskat på ämnet. Men tittar man närmare på dem så upptäcker man att de, i stora drag, går åt två skilda håll: Antingen tror man att eukaryoterna har haft sitt ursprung ur någon annan cell, till exempel en arké eller en bakterie. Eller också så tror man, som väldigt

många gör idag, att eukaryoterna har uppstått genom någon slags massiv HGÖ mellan bakterier och arkéer (till exempel en sammanslagning av allt DNA från en arké med en bakterie). Sådana här teorier föddes när man såg att i släkträd baserade på gener placerades eukaryoterna i totalt olika delar av trädet beroende på vilken gen det var man undersökte. Använde man sig till exempel av en typ av gen som bestämde hur DNA:t skulle kopieras så hamnade eukaryoterna tillsammans med arkéer medan om gener för uppbyggandet av cellen användes så hamnade eukaryoterna tillsammans med bakterier.



I teorier om eukaryoternas uppkomst som innefattar en sammanslagning av DNA från arkéer och bakterier (två eller flera) så kommer Livets träd bli ringformat där eukaryoterna sluter ringen.

## Våra fångslade bakterier förser oss med gener och energi

En intressant teori om eukaryoternas uppkomst säger att vi uppstod när en arkécell åt upp en så kallad alfa-proteobakterie, vilken är föregångaren till dagens mitokondrier\*. Stora delar av alfa-proteobakteriens DNA förflyttade sig sedan gradvis över via horisontell genöverföring till arkécellens DNA där det på något vis bildades en cellkärna. Den här överföringen är något som man fortgår än idag hos bland annat växter.

Parallellt med mitokondrien har även en annan bakterie tagit sig in i eukaryoter, nämligen en cyanobakterie (blågrönalg) vilken har gett upphov till små enheter som kallas kloroplaster i växters celler. Kloroplasterna ger växterna dess gröna färg då de absorberar allt ljus utan grönt ljus (vilket skickas tillbaka till ögat) och binder dess energi. Den horisontella genöverförelsen från dessa två organeller till kärnan är enorm. Till exempel tror man att 18% av alla gener hos växten backtrav har sitt ursprung hos kloroplasten och merparten av de resterande generna kommer från mitokondrien!

---

\* Mitokondrier är små membranomslutna enheter, organeller, som hittas i stora antal inuti eukaryota celler. Deras roll i cellen har blivit att binda näst intill all den energi som används i olika processer i cellen. Mitokondrier är på så vis cellernas ”kraftstationer”. Det finns många bevis för att mitokondrierna faktiskt är från små bakterier som lever inuti våra celler.

## Bakterier – en enda stor jätteorganism?

Om man tycker att genöverföringen hos oss är imponerande stor så är det ingenting emot vad man hittar om man vänder blickarna till våra kära bakterier. Många anser att HGÖ hos bakterier och arkéer har ersatt den omblandning av gener som sex innebär hos eukaryoter och att HGÖ har ökat förnyelsen av gener med någonstans mellan 10 000 – 100 000 000 000 gånger från vad som hade varit fallet om endast vertikal nedärvning (kloning) hade funnits. HGÖ har på så vis haft en jättstor inverkan på evolutionen av bakterier och arkéer. Det har till exempel lett till att viktiga egenskaper så som antibiotikaresistens och förmåga till fotosyntes, kvävefixering och produktionen av gifter har kunnat sprida sig över artgränserna.

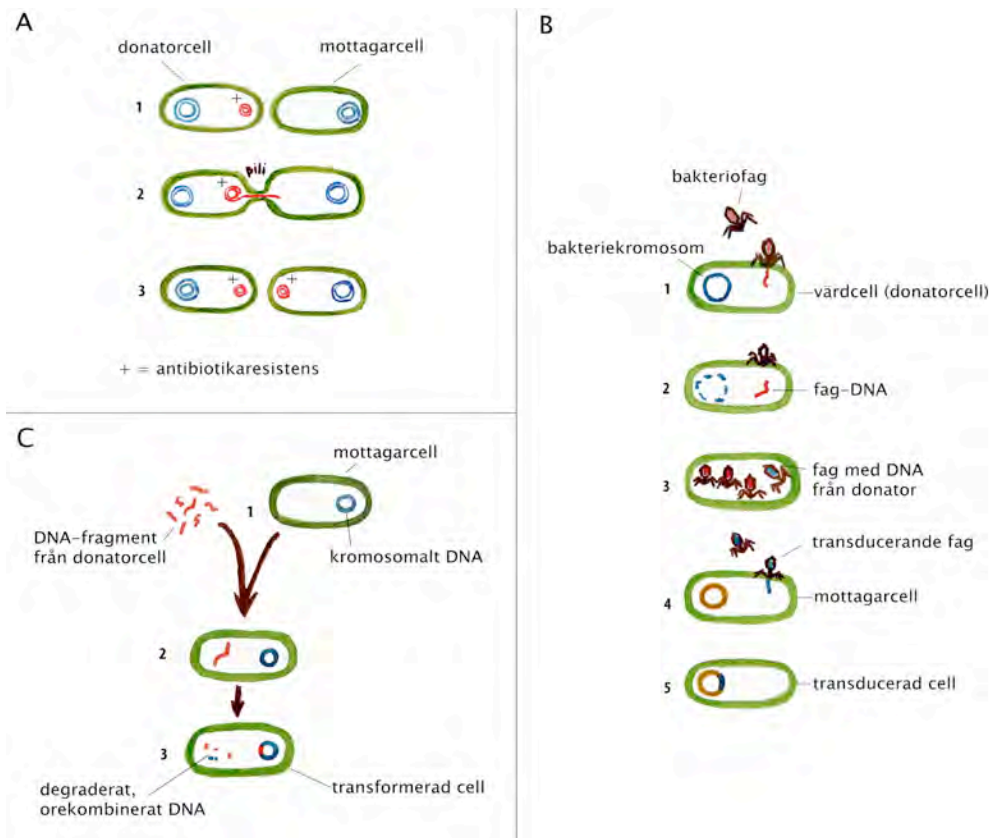
En horisontell genöverföring i den här storleksskalan har fått många att tvivla på artbegreppen hos bakterier och arkéer. Man har lagt fram förslag på att artbegreppet borde flyttas upp på en högre nivå och många har rent av den uppfattningen att man skulle kunna se på alla bakterier som en enda stor jätteorganism!

## Bakgrund

### Mekanismer bakom HGÖ

Genöverföringen hos arkéer och främst bakterier har studerats under en lång tid och man vet ganska detaljerat hur den sker. Tre olika mekanismer för överförandet har presenterats och alla sker i stor omfattning: konjugation (två bakterier kopplar ihop sig varvid DNA överförs mellan cellerna), transduktion (DNA sprids med virus mellan bakterierna och transformation (små bitar av DNA tas upp direkt från omgivningen), se bilden nedan.

Horisontell genöverföring hos prokaryoter. **A:** Bakteriell konjugation. Donatorcellen överför DNA innehållandes antibiotikaresistens till en mottagarcell genom ihopkoppling med cellutskott. **B:** Transduktion. DNA förs över från en bakteriofag till värdcellen (1) och fagenzym degraderar värdcellens DNA (2). Värdcellen syntetiserar nya fager som inkorporerar fag-DNA och ibland av misstag även värdcellens DNA (3). Givar DNA förs över från den transducerade fagen till mottagarcellen (4) vilket ibland tas in i mottagarens kromosom (5). **C:** Transformation. Mottagarcellen tar upp främmande DNA från omgivningen och inkorporerar det ibland i det egna DNA:t.



När det kommer till HGÖ mellan eukaryoter och bakterier eller arkéer eller HGÖ bland eukaryoter är det mycket mera oklart hur överföringen går till. I många fall tror man att en eukaryot cell har ätit upp till exempel en bakterie och att det därefter har skett en överföring när bakteriecellen går sönder och DNA avges i närheten av kärnan. I andra fall kan man tänka sig att speciella typer av virus är med i spelet eller att DNA överförs direkt mellan arter som lever mycket tätt inpå varandra (till exempel mellan parasiter och deras värdar).

## Mer information

Doolittle, W.F., Boucher, Y., Nesbø, C.L., Douady, C.J., Andersson, J.O. och Roger, A.J. 2003. How big is the iceberg of which organellar genes in nuclear genomes are but the tip? *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* **29**: 39–57.

Hartman, H. och Fedorov, A. 2002. The origin of the eukaryotic cell: a genomic investigation. *Proc Natl Acad Sci U S A.* **5**: 1420-25

Jain, R., Rivera, M.C., Moore, J.E. och Lake, J.A. 2003. Horizontal gene transfer accelerates genome innovation and evolution. *Mol Biol Evol.* **20**: 1598–602.

Lake, J.A. and Rivera, M.C. 2004. Deriving the genomic tree of life in the presence of horizontal gene transfer: conditioned reconstruction. *Mol Biol Evol.* **21**: 681–90

Martin, W., Rujan T., Richly E., Hansen A., Cornelsen S., Lins, T., Leister, D., Stoebe, B., Hasegawa, M. och Penny, D. 2002. Evolutionary analysis of *Arabidopsis*, cyanobacterial and chloroplast genomes reveals plastid phylogeny and thousands of cyanobacterial genes in the nucleus. *Proc Natl Acad Sci U S A.* **99**: 12246–51

Mower, J.P., Stefanović, S., Young, G.J. och Palmer, J.D. 2004. Plant genetics: gene transfer from parasitic to host plants. *Nature.* **432**: 165–66.

Richardson, A.O. och Palmer, J.D. 2007. Horizontal gene transfer in plants. *J Exp Bot.* **58**: 1–9.

Timmis, J.N., Ayliffe, M.A., Huang, C.Y. och Martin, W. 2004. Endosymbiotic gene transfer: organelle genomes forge eukaryotic chromosomes. *Nat Rev Genet.* **5**: 123–35.