

# ATT TOLKA LIVETS TRÄD

TEXT: Petra Korall, universitetslektor vid institutionen för organismbiologi, petra.korall@ebc.uu.se samt Dan Larhammar, professor i molekylär cellbiologi vid institutionen för medicinsk cellbiologi, dan.larhammar@uu.se, båda vid Uppsala universitet

**Från Darwins första skiss till dagens jämförelser av hela genom har evolutionära träd varit kraftfulla pedagogiska verktyg för att illustrera evolutionära släktskap. Ändå är feltolkningar av träd vanliga. Här beskrivs vad träden egentligen visar och hur missförstånd kan undvikas.**

Redan Charles Darwin kom på idén att illustrera arters släktskap som träd som förgrenar sig allt mer och där vissa grenar dör ut. En skiss i hans anteckningsbok från 1837 under texten "I think" förfinades till ett schematiskt trädliknande diagram, den enda figur som ingick i den första upplagan av *Om arternas uppkomst* 1859, dock inte i de efterföljande upplagorna. Det träd som fick störst genomslag är sannolikt Ernst Haeckels knotiga ek med

grenar för de olika grupperna av organismer och med människan antropocentriskt placerad högst upp i trädets krona.

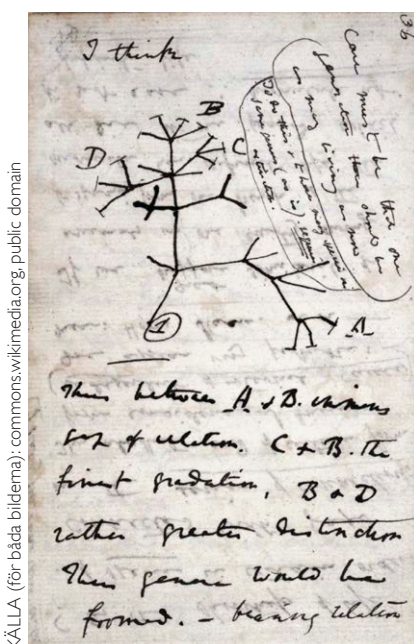
Sedan dess har tolkandet av evolutionära träd, trädänk, utvecklats och är ett värdefullt pedagogiskt hjälpmedel för att belysa både släktskap, evolution av egenskaper och tidsförlopp. Didaktisk forskning visar dock att träd lätt misstolkas av elever och studenter. I ärlighetens namn ska sägas att även forskare som inte

är bekanta med evolutionärt tänkande kan feltolka information i evolutionära träd.

## Hur ska evolutionära träd tolkas?

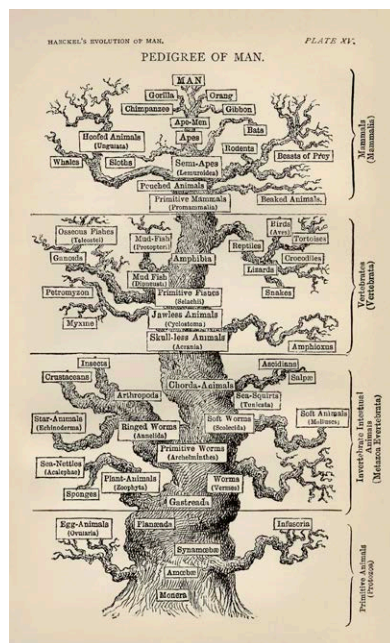
Ett evolutionärt träd (även kallat släktskapsträd, fylogenetiskt träd eller bara fylogeni) visualiserar hur organismer är släkt med varandra. Eller, som det oftast rör sig om, visualiserar de en hypotes om evolutionära släktskap, eftersom vi sällan med säkerhet kan avgöra hur evolutionen har skett. Hypoteser om släktskap kan alltså ha mer eller mindre stöd i de analyser som ligger till grund för fylogenierna\*. Att blomväxterna, angiospermerna, har uppkommit en enda gång, har vi idag väldigt starkt stöd för från många olika typer av data och analyser. Däremot är det mer osäkert till exempel hur bladmossor, levermossor och nälfruktsmossor är släkt med varandra och med kärlväxter.

\* Vi tänker att det är viktigt att vara tydlig inför elever att det är hypoteser, men också att placera det i ramverket av ett vetenskapligt arbetssätt och diskutera vad hypoteser i detta sammanhang betyder. Man bör också samtidigt vara mycket tydlig med att väldigt många av våra hypoteser om släktskap idag har mycket gott stöd genom många studier gjorda med olika analysmetoder och baserat på mycket data av olika karaktär (DNA sekvensdata, genomdata, morfologi, anatomi, och så vidare).

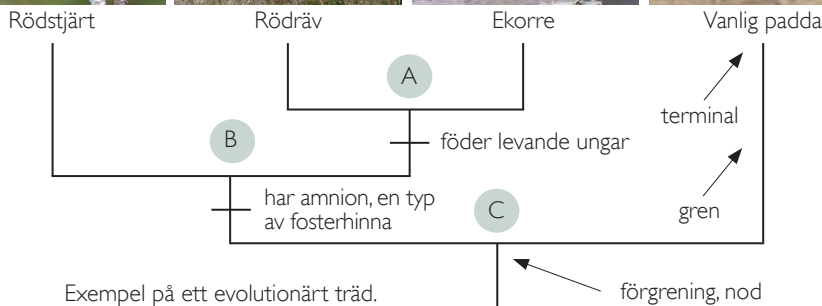


KÄLLA (för båda bilderna): commons.wikimedia.org, public domain

En sida i Charles Darwins anteckningsbok från 1837, med ett trädliknande diagram som senare kallats "The tree of life".



Ernst Haeckels ek med grenar för olika grupper av organismer, med människan placerad högst upp.

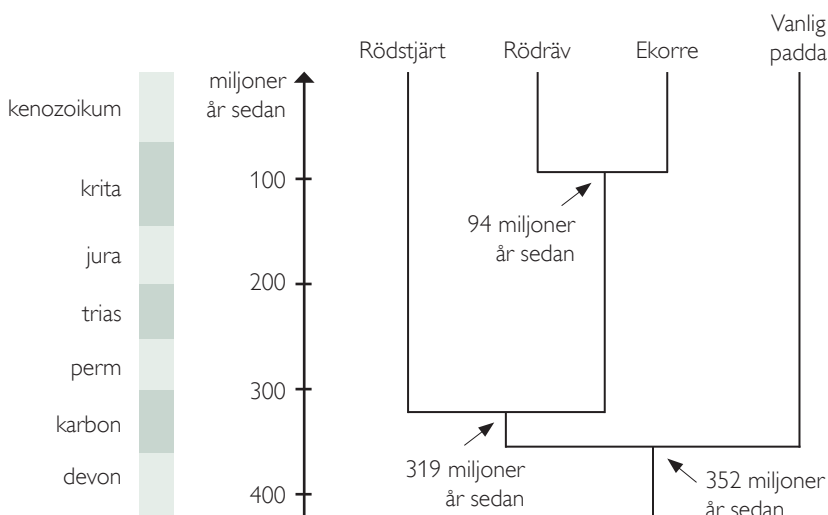


Exempel på ett evolutionärt träd.

### Så kan trädets ovan beskrivas

I den vänstra kolumnen nedan finns förslag på hur man kan beskriva trädets ovan (se även artikeltextern bredvid). I den högra kolumnen listas formuleringar som bör undvikas för att minska risken för att förstärka missuppfattningar kring släktskapsträd och evolution. Läs mer om missförstånd och hur de kan undvikas på sidorna 9–11. Se även rutan med förklaringar av terminologin på sidan 9.

Använd	Använd inte
Ekorren är systergrupp till rödräven.	Ekorren sitter bredvid rödräven.
Rödstarten är systergrupp till kladen/gruppen som innehåller räven och ekorren.	Först kommer rödstarten, sedan rödräven, sedan ekorren.
Rödräven och ekorren bildar tillsammans en klade.	
Rödräven och ekorren har en gemensam föregångare som de inte delar med någon annan i trädets.	Ekorren och rödräven sitter tillsammans.
Paddan är systergrupp till kladen med alla andra.	Paddan sitter basalt i trädets./ Den första att vika av är paddan.
Att föda levande ungar är en härledd egenskap för kladen med rödräven och ekorren.	Ekorren och räven är avancerade arter.
Förekomst av amnion är en ursprunglig egenskap för kladen med rödräven och ekorren.	Paddan är en primitiv art.



Exempel på ett kronogram, samma evolutionära träd som ovan men med den beräknade tiden mellan olika händelser utmärkt. Dateringarna är baserade på timetree.org.

Hur ska då ett evolutionärt träd tolkas? Bilden bredvid visar (en hypotes om) hur fyra arter är släkt med varandra; rödstart, rödräv, ekorre och vanlig padda. Om vi börjar vid räven och följer linjen, grenen, nedåt så kommer vi att förflytta oss bakåt i tiden. I punkten (noden) A finner vi förgreningen för rävens och ekorrens grenar. Här hade räven och ekorren senast en gemensam föregångare\*. Det är alltså här vi hittar den yngsta föregångare som är gemensam för dessa båda arter.

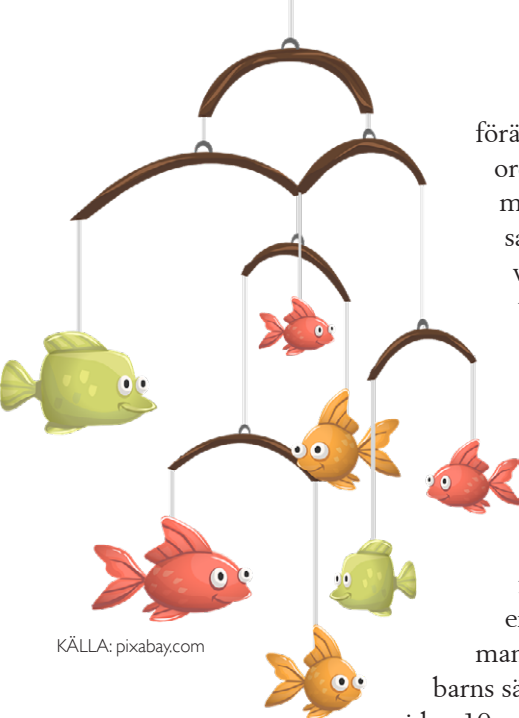
Följer vi sedan deras gemensamma gren nedåt så når vi i nod B grenen som leder till rödstarten. Eftersom vi har fortsatt att gå tillbaka i tiden, betyder detta att rödstarten och de två däggdjuren har en gemensam föregångare i B som är äldre än den senaste föregångaren till enbart räv och ekorre (i nod A). Detta innebär att räv och ekorre är närmare släkt med varandra än vad någon av dem är med rödstarten.

Nod C är där alla fyra arter senast hade en gemensam föregångare. Det har naturligtvis funnits många föregångare längs alla de vertikala grenarna i trädets, men det vi fokuserar på är när de olika arterna senast hade en gemensam föregångare. Det är det som avgör vilka arter som är närmare släkt med varandra.

Tiden som visas i trädets ovan är relativ. Föregångaren i punkt B är äldre än den i A, men det finns ingen skala och grenarna är inte proportionella mot tiden. Evolutionära träd som även visar den beräknade tiden mellan olika händelser kallas för kronogram, som bilden här till vänster.

När vi tolkar fylogenetiska träd ligger fokus på förgreningar, det vill säga när olika utvecklingslinjer separeras från varandra. Notera att grenar som utgår från samma nod kan byta plats med varandra (roteras runt noden) utan att trädets information

\* Vi har valt att använda det könsneutrala ordet "föregångare" istället för anmoder eller förfäder; i linje med engelskans "ancestor".



KÄLLA: pixabay.com

förändras. Med andra ord, dessa grenar kommer fortfarande att ha samma relation till varandra i förhållande till noden. I bilden på föregående sida kommer rävar och ekorre alltid att vara närmast släkt med varandra, oavsett om vi roterar dem i nod A. Man kan likna ett fylogenetiskt träd vid en mobil (sådana som man hänger ovanför små barns sängar). I bilderna på sidan 10 ges exempel på olika typer av träd som alla visar samma evolutionära relationer.

Det är viktigt att beakta att evolutionära träd oftast visar ett urval av arter, mer sällan samtliga arter i en viss grupp besläktade organismer. Trädet i bilden med djuren på föregående sida visar att av dessa fyra arter är rödräv och ekorre närmast släkt med varandra. Om vi hade haft ett annat träd där vi hade inkluderat även en fjällräv, så hade den varit närmast släkt med rödräv. Ekorre hade då varit systergrupp till de två rävarterna tillsammans och lika nära släkt med båda dessa (då de delar samma gemensamma yngsta föregångare med ekorre).

## Svårigheter och missuppfattningar

Det är inte enkelt att tolka fylogenetiska träd vilket har visats i många forskningsstudier från flera länder. Trädtänk, att tolka fylogener, sker inte intuitivt utan behöver läras. I forskningsstudierna återkommer ett antal vanliga svårigheter kring trädtänk, liksom även missuppfattningar som kan vara svåra att förändra. En av oss, Petra Korall, har en pågående studie om svenska biologistudenters trädtänk. Resultaten som nu håller på att sammanställas överensstämmer väl med andra studier. Ett spännande resultat är att de fyra årskullar som studerats uppvisar mycket lika mönster vad gäller trädtänksförståelse precis när de börjar på kandidatprogrammet i biologi. Det gör att resultatet ger oss en grund för att (i ett svenskt ramverk) reflektera kring vilken förståelse (och vilka missförstånd) som studenterna har med sig från gymnasiet.

Här nämner vi några av de svårigheter och missförstånd som vi ser både hos dessa studenter och i studier från andra länder. I en lärarhandledning på Bioresurs webbplats finns de olika svårigheterna och missförstånden förklarade mer i detalj och vi föreslår sätt att stötta lärandet och motverka befästandet av missförstånd.

## TERMINOLOGI

### Nod och gren

Nod är den förgreningspunkt där olika evolutionära linjer börjar divergera från varandra (alltså artbildning). Grenar förenar noderna (eller en nod med en terminal).

### Terminaler

De organismer som återfinns i grenändarna, som rödstjärt och de andra tre arterna i träden på sidan 8. Terminaler kan även vara grupper av arter (som till exempel släkten, familjer), som i kronogrammet i lärarhandledningen på Bioresurs webbplats.

### Monofyletiska grupper

En monofyletisk grupp (från grekiskans "en stam/familj/släkt") eller naturlig grupp är en grupp som inkluderar en föregångare och alla dess avkommor. I vårt exempel tillhör rödräv och ekorre samma monofyletiska grupp. Däremot bildar inte padda, rödräv och ekorre en monofyletisk grupp här om inte också rödstjärt får ingå i den gruppen.

### Klad

Ordet klad syftar på en föregångare och alla dess avkommor i ett visst evolutionärt träd. Kladen avser de arter (eller grupper) som finns på en viss gren i trädet, medan monofyletisk grupp (ovan) är samtliga arter som tillhör denna gren i organismvärlden som helhet. En klad kan avskiljas från det övriga trädet med ett enda klipp.

### Systergrupper

De två grupper som är närmast släkt med varandra i ett evolutionärt träd kallas systergrupper. I trädet på sidan 8 är rödräv och ekorre systergrupper. Samtidigt är rödstjärt systergrupp till gruppen med de båda däggdjuren.

### Karaktärer

Ofta är man intresserad av att undersöka hur egenskaper, karaktärer, har evolverat\*. Detta kan man sedan visa i trädet, se karaktären "föder levande ungar" i trädet på sidan 8. Denna karaktär uppstod hos föregångaren som bara rödräv och ekorre delar (av arterna i trädet). Det är en härledd karaktär för den här kladen (på engelska används ordet "derived") i betydelsen att den har tillkommit och är unik för dessa organismer (återigen, i relation till det här specifika trädet och de här arterna). I trädet har fågel, ekorre och rävar amnion (en typ av fosterhinna). Den egenskapen uppkom tidigare än den senast gemensamma föregångaren till rödräv och ekorre. Den är därmed en ursprunglig karaktär i förhållande till rödräv och ekorre. Dock är det en härledd karaktär för fågel, ekorre och rävar i trädet. När vi pratar om härledda och ursprungliga karaktärer handlar det alltså om att hela tiden referera till det specifika trädet och kladena i trädet.

\* Man brukar skilja på "egenskap" och "karaktär" i samband med fylogenetiska träd och analyser. Egenskaper är det vi observerar, direkt eller indirekt. När vi sedan formaliserar det vi ser för att kunna analysera, kallar vi det karaktärer och karaktärstillstånd. Ett exempel: Vi studerar en grupp växter och ser att olika arter har olika blomfärg (egenskap). Vi formaliserar då det som "Karaktär: blomfärg. Karaktärstillstånd: gul, röd och blå." och antar därmed att det vi jämför är homologt, det vill säga har gemensamt ursprung.

### Olika former och rotation runt noder

Det finns två grundläggande svårigheter med att tolka träd. Det första är att träd kan ha olika form, som rektangulära, diagonala och cirkulära, men ändå visa samma släktskapsrelationer (se bilderna nedan). Det andra är att systergrupper kan rotera runt noden där den närmast gemensamma föregångaren finns (och därmed byta plats med varandra) och ändå ange samma släktskapsrelationer (se till exempel D och E i bilderna).

### Morfologi, terminaler och linjetänk

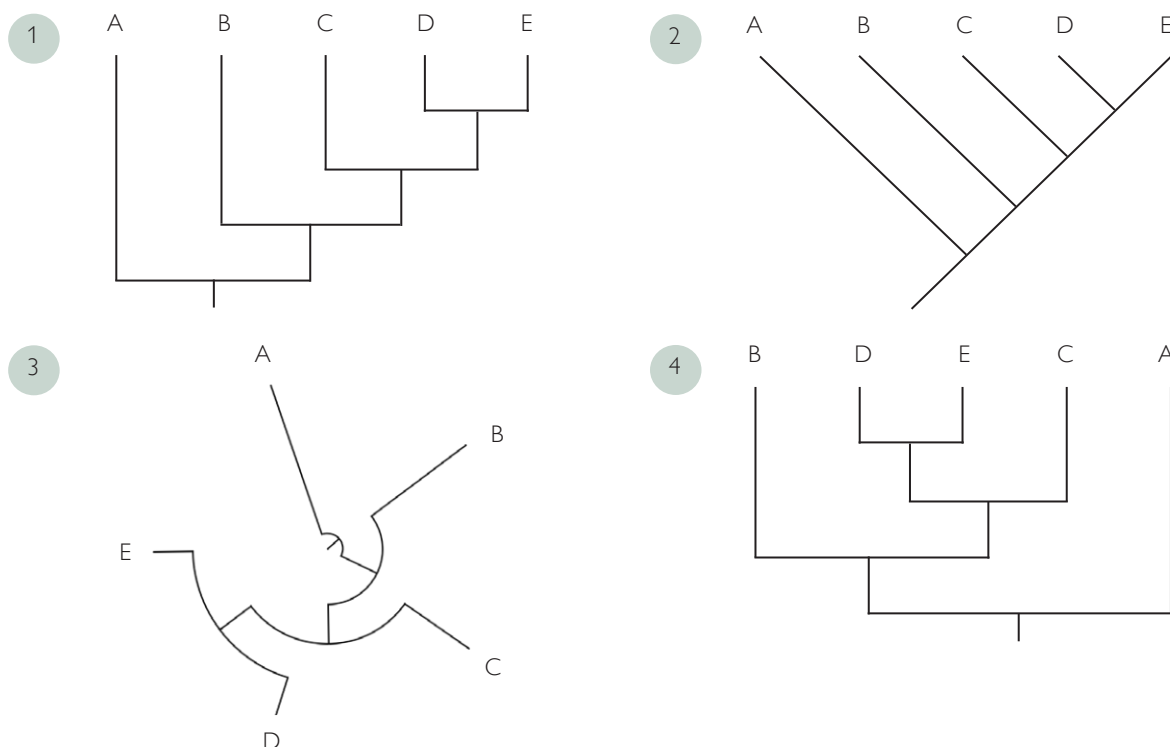
Vanliga missförstånd kring vad evolutionära träd är och hur de ska tolkas kan ofta kopplas, direkt eller indirekt, till den felaktiga idén om att evolutionen har ett mål. Allmänt uttrycks missförstånd om evolutionär riktning på många sätt, men kan till exempel vara "fjärilar utvecklade lång sugsnabel för att komma åt blommornas nektar".

Med fokus på träd tänk tar vi upp tre vanliga missuppfattningar. Den första är "morfologisk likhet speglar ett nära släktskap", det vill säga att man tittar på organismernas morfologi och gemensamma likheter, snarare än trädets förgreningar. Den andra

är att man "läser terminalerna", man tolkar släktskap genom att titta på terminalernas ordning, ofta från vänster till höger (som från A till E i bild 1 nedan) eller nerifrån och upp i ett "liggande" träd. Den tredje är "linjetänk", och är direkt kopplad till den felaktiga idén om att det finns en evolutionär riktning, ofta från det som anses vara "primitivt" till mer "avancerat", som att människa härstammar från schimpansen eller att blomväxterna härstammar från dagens mossor.

### Begrepp och beskrivningar

Precis som inom alla ämnen finns en terminologi kring fylogener som gör att vi kan kommunicera och förstå varandra, se rutan på sidan 9. Visserligen går det att förklara fylogener utan att använda den specifika terminologin, men det innebär ofta tvetydigheter och blir inte lika precist. Många vardagliga formuleringar om evolutionära träd är problematiska genom att de stöder det felaktiga linjetänket. Till exempel kan uttryck som "grenen viker av" associeras med "sidospår" och att det därmed finns ett "huvudspår" – vilket i sin tur kan missförstås som



Fyra träd som visar samma fylogeni.

Det kan vara bra att visa på att evolutionära träd kan ritas på olika sätt. Men samtidigt kan det ur didaktisk synvinkel vara bra att fokusera på den form som elever lättare kan tolka – eftersom det kan vara utmanande nog. Den ytterligare komplexitet som uppstår med olika utseenden riskerar att flytta fokus från tolkningen av släktskap. Flera studier visar att det verkar vara betydligt lättare att tolka ett rektangulärt träd (som 1, ovan) jämfört med ett träd med, sneda grenar (som 2, ovan). En fördel med diagonala grenar är dock att det på något sätt förmedlar evolutionens ofta gradvisa förändringar när grenarna leder längre och längre ifrån varandra. Rektangulära träd kan å andra sidan ge intryck av en definitiv separation, en abrupt händelse som drar isär två grupper från varandra, vilket också ibland är fallet. Träd 3 är cirkulärt med föregångaren i centrum och grenarna utåt mot periferin. Träd 4 innehåller exakt samma information som träd 1, skillnaden är bara att noderna har roterats horisontellt.

Vad som inte visas i träderna i denna artikel är att genetisk forskning visar att grenarna i evolutionära träd inte bara divergerar från varandra, utan att de också, så länge de olika grenarnas organismer fortfarande kan få fertil avkomma, faktiskt också kan konvergera och förenas igen. Detta kan exempelvis ske när två arters kromosomuppsättningar slås ihop och bildar en ny art som hos vete eller karp.

att evolutionen har ett mål. Det är också vanligt att man kallar en art/grupp som är systergrupp till alla andra i ett släkträd "basal". Men "basal" leder lätt till missuppfattningen att andra organismer i trädet är mer avancerade (se träden i bilden till höger). Med samma argument är rådet att undvika ord som "primitiv" eller "avancerad". Att säga att en organism är primitiv bygger dessutom på en felaktig bild av evolution. En organism är inte primitiv, däremot kan en organism uppvisa egenskaper eller karaktärer som också finns hos dess föregångare. Man skulle här kunna säga att de har egenskaper som är primitiva, men vi rekommenderar att man använder ord som "ursprunglig" egenskap istället för "primitiv" och "härledd" egenskap istället för "avancerad" (i relation till det specifika trädet och arterna som ingår).

Se tabellen på sidan 8 för några exempel på vilka uttryck man bör använda och inte.

## Fylogenetiska träd kontra klassifika-tioner och bestämningsnycklar

Det är vanligt att fylogener förväxlas med klassifikation och ibland även bestämningsnycklar. Ett fylogenetiskt träd är en hypotes om släktskap (baserat på någon form av data som analyserats med lämpliga metoder).

En klassifikation är en indelning av de organismer som studeras, och den görs efter det att en hypotes har formulerats och testats. Man kan se klassifikation som ett medel för kommunikation. Vi gör indelningar av världen runt omkring oss för att kunna prata om den. Idag finns stor konsensus bland forskare att en klassifikation ska baseras på naturliga, monofyletiska, grupper och därmed spegla våra hypoteser om organismernas evolution.

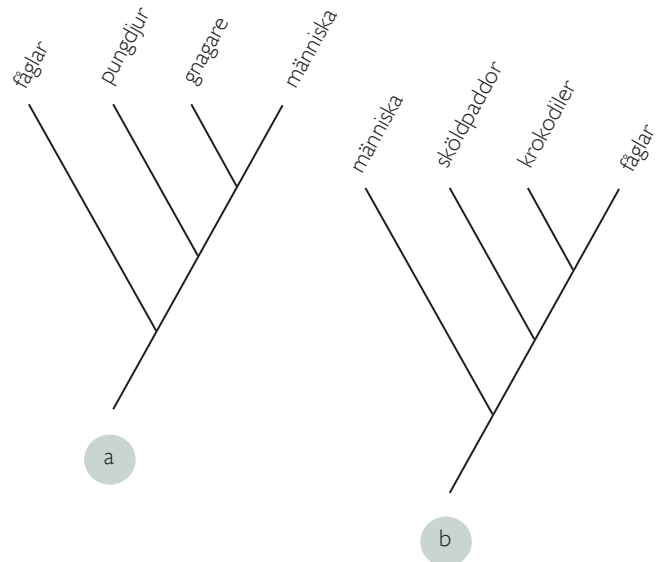
Att vi delar in organismvärlden, klassificerar den, utifrån släktskap är också huvudanledningen till att klassifikationer ändras ibland. När forskning visar att grupper som vi trott var närbesläktade inte är det så ändrar vi klassifikationen (och därmed även namngivningen) för att spegla de nya rönen.

En bestämningsnyckel använder sig av (lätt studerade) egenskaper för att identifiera taxa\*. Nyckeln avser inte att säga något om släktskap.

## Sammanfattning

Evolutionära träd är utmärkta pedagogiska hjälpmedel men det är viktigt att de beräknas, tolkas och beskrivs så precist som möjligt för att inte riskera att bidra till missuppfattningar om evolutionen. Vi hoppas att våra rekommendationer kan underlätta för både lärare och elever att få en mer korrekt uppfattning om evolutionen och dess kontinuerliga förgreningar.

\*Taxon (plural taxa) är en namngiven organismgrupp, oavsett rang. Taxon används istället för art/släkte/familj etcetera när man inte vill specificera rang.



Ett sätt att illustrera problemet med ord som basal och primitiv är att jämföra hur man uttrycker sig om släktskap där fåglar och människa har precis samma position i två olika träd. Att säga att fåglar är basala eller primitiva i förhållande till människan kan nog många tänka sig att säga (se träd a ovan), men det motsatta – att människan är basal/primitiv i förhållande till krokodiler, sköldpaddor och fåglar (träd b)?

## ÖVNINGAR OCH LÄRARHANDLEDNING

På Bioresurs webbplats, under Resurser och Evolution, presenteras ett antal övningar på temat evolutionära träd, se två exempel nedan, samt en lärarhandledning, som bland annat går närmare in på vissa delar av innehållet i denna artikel.

### Trädtänk – tre uppgifter

Uppgift 1 går ut på att rita träd som visar olika fylogener för tre arter (A, B, C).

Uppgift 2 är att rita ett träd som stämmer med sex olika påståenden om vad som ska gälla för släktskapet mellan röd flugsvamp, citronfjäril, blåsippa, tall och gorilla.

Uppgift 3 utgår från en bild med tre rektangulära träd. Till dessa finns ytterligare tolv bilder på släkträd. Eleverna ska studera de tolv träden och undersöka om något eller några av dem visar samma släktskapsförhållanden som de tre rektangulära träden (eller om de inte passar ihop med något av dem).

### Fylogenetiska träd – kamratritning

I den här uppgiften jobbar eleverna i par eller i mindre grupper. Grupperna får varsitt släkträd (olika med vardera sju arter (A–G)). Detta träd ska de beskriva i punktform med stöd av korrekta termer (till exempel "B är systergrupp till A och G") på ett sätt som gör det möjligt för en annan person/grupp att rita upp motsvarande träd. Grupperna byter instruktioner med varandra och försöker sedan rita ett släkträd utifrån den information de fått av den andra gruppen. Övningen tränar både användning av korrekta termer och förmågan att tolka träd.