



Hypotesernas roll i forskningen

Geologers vetenskapsideal,
Karl Popper och
demarkationen mellan vetenskap och ickevetenskap

Inledning	1
Bakgrund	1
Grader av vetenskap och förhållandet mellan subjektiva och objektiva förutsättningar för vetenskaplighet.	2
Internalism och externalism som demarkationskriterier.....	3
Fallstudium: Hypotesernas roll i forskningen	4
Chamberlin: Multiple hypotheses.....	4
Davis: Outrageous hypotheses	6
Gilbert: The origin of hypotheses	7
Diskussion	9
Popper och vetenskapens evolutionära egenskaper.....	9
Naturalism.....	10
Demarkation	11
Från demarkation till en komplex vetenskap om en komplex värld.....	13
Litteratur:	14

INLEDNING

Forskaren och dennes roll i forskningsprocessen är ett fenomen som vetenskapsstudier tagit upp till fokus. Karl Popper framställs ofta som en av 1900-talets stora vetenskapsfilosofer och hans falsifikationistiska metod för vetenskaperna eller hypotetisk-deduktiva metod tillhör det som man inom naturvetenskap tar för givet som synonym med den vetenskapliga metoden. Huruvida Popper "har fel" eller är användbar idag, är inte fokus för denna uppsats, utan mitt intresse är att undersöka i vilken grad Poppers metod för prövning av hypoteser stämmer överens med det tänkande som uppvisas i metodologiska texter hos amerikanska naturalistiska forskare vid sekelskiftet 1800-1900.

BAKGRUND

Demarkationen mellan vetenskap och icke-vetenskap

Vetenskapen har genom historien präglats av det som Larry Laudan benämner demarkationsproblemet, vilket går ut på att det måste finnas ett kriterium med vars hjälp vi kan skilja mellan vetenskap och icke- eller till och med pseudovetenskap. Under 1900-talet har vetenskapsfilosofi formulerat två viktiga demarkationstraditioner, positivismens logiska verifierbarhetskriterier och Poppers falsifikationistiska program.

The evident epistemic heterogeneity of the activities and beliefs customarily regarded as scientific should alert us to the probable futility of seeking an epistemic version of a demarcation criterion. (Laudan, 1996, s 221, kursivering i original)

Laudans poäng är att vi måste skilja mellan två frågor, nämligen mellan frågan om vad som gör en övertygelse välgrundad och vad som gör en övertygelse vetenskaplig. Den förra, menar Laudan, är både filosofiskt intressant och möjlig att besvara, medan den andra är både ointressant och baserat på tidigare resultat onåbar. Genom historien har en mängd olika förslag på demarkationskriterier ställts upp och prövats. Laudan söker källan till västerlandets uppdelning mellan vetenskap och icke-vetenskap i det antika Grekland, där det fanns ett intresse för att skilja mellan kunskaper (*episteme*) och åsikter (*doxa*). Hos Aristoteles finner Laudan uttryck för att särskilja *vetenskaplig kunskap*. Vetenskaper, menade Aristoteles, särskildes av ett sökande efter orsaker, användningen av logiska demonstrationer och försöken att identifiera universella egenskaper som finns inneboende i de enskildheter vi känner med våra sinnesintryck, men främst av allt utmärks vetenskap av att den innefattar "apodiktisk säkerhet" eller annorlunda uttryckt, att den är bevisad med absolut säkerhet (ibid.). Hos Aristoteles finns även ett annat demarkationskriterium, vilket skiljer mellan ett praktiskt kunnande (know-how) och ett teoretiskt eller demonstrativt (know-why), vilket vetenskaparen besitter. Dessa två kunskapsformer kan enkelt beskrivas som hantverkarens och vetenskaparens respektive förmågor. Hantverkaren, och Laudan, (s 212) väljer skeppsbyggaren som exempel, vet hur man fogar trä tillsammans för att bygga en sjövärdig båt, men han har inte (behöver inte ha), och har ingen användning för, en syllogistisk, kausal demonstration baserad på de grundläggande principerna eller tingens ursprungsorsaker. Vetenskaparen däremot, måste kunna visa varför ett ting beter sig som det gör genom att följa dess orsaker tillbaks till dess ursprungspunkter, annars har han/hon ingen vetenskaplig kunskap om det tinget.

Dessa två kriterier för vetenskaplighet, uppdelningen mellan säker kunskap och enkla åsikter å ena sidan och uppdelningen mellan teoretisk och praktisk kunskap, å den andra, har genom historien allt mer kommit att ifrågasättas, i takt med att de har visat sig omöjliga att hålla fast vid i praktiken. Både uppdelningen mellan praktisk/teoretisk kunskap under 1600-talet och senare under 1800-talet även åsikten att vetenskapen skulle vara icke-felbar, har åtminstone i vetenskapens utövning kommit att ersättas av ett annat ideal.

”Den vetenskapliga metoden” kom att bli det nya demarkationskriteriet genom vilket vetenskapen skulle kunna avskiljas från andra kunskapsformer. Men, som Laudan visar, även detta kriterium hade svårt att göra rättvisa åt skillnaderna. De egenskaper som den vetenskapliga metoden behöver uppvisa, 1. att vetenskapen använder en begränsad uppsättning metoder och 2. att deras epistemiska trovärdighet på något sätt kunde fastställas, har inte kunnat visas i det myller av metodologiska maningar som kommit att föreslås.

Laudan gör en uppdelning av tre frågor som måste kunna besvaras av ett demarkationskriterium.

1. Det måste vara redogöra för det sätt som vi normalt skiljer mellan vetenskap och icke-vetenskap, samt uppvisa epistemiskt viktiga skillnader mellan dem.
2. Det måste innefatta både nödvändiga villkor och ett mått på när de har uppnåtts tillräckligt väl ”necessary and jointly sufficient conditions” (Ibid, sid 216), samt,
3. Det är också viktigt att vara medveten om att det bakomliggande syftet för att upprätta ett demarkationskriterium påverkar dess formulering.

Han sammanfattar sina diskussioner om ’demarkationsproblemets ände’, genom att hänvisa till frågan om varför det över huvud taget skulle vara viktigt att göra en demarkation mellan vetenskap och icke-vetenskap.

Grader av vetenskap och förhållandet mellan subjektiva och objektiva förutsättningar för vetenskaplighet.

När vi idag talar om vetenskap och menar det engelska ordet ”science”, refererar vi i första hand till de ”hårda” vetenskaperna, som fysik, kemi med matematiken som hjälpvetenskap. Om vi talar om naturvetenskaperna i plural så kan vi också räkna in biologi och geovetenskaperna. Vid förra sekelskiftet var ordningen inte densamma. På en lista över ”Leading men of science in the United States in 1903” (Cattell, 1933, citerad i (Baker, 1996) börjar listan över geologer med: ”1. Thomas Chrowder Chamberlin 2. Grove Karl Gilbert [...] och följs lite längre ner av ”6. William Morris Davis”, ofta benämnd geomorfologins fader. Man kan säga att dessa ämnen, geologi och geografi då stod på en höjdpunkt i sin framväxt, där företrädarna blandade upptäckarglädje och äventyrlusta med metodologiska överväganden om hur forskning bäst skall utföras. Evidens för att säga att det som nu benämns geovetenskaper vid förra sekelskiftet hade en starkare ställning i vetenskapssamhället kan hämtas i det faktum att de tre texter av geovetare från förra sekelskiftet, vilka studeras senare i denna uppsats fallstudiedel alla är publicerade i tidskriften Science samt i ett fall till och med två gånger (se not 1).

Här finns något som jag finner intressant hos dessa tidiga geovetare, något som också kommer till uttryck i Karl Poppers vetenskapsfilosofi, nämligen deras tankemässiga växling mellan de å ena sidan ”subjektiva” fröna till kunskapen eller hypoteserna, vilka å andra sidan kan utvecklas objektivt och helt autonomt från forskarens intentioner.

The world of language, of conjectures, theories, and arguments – in brief, the universe of objective knowledge – is one of the most important of these man-created, yet at the same time largely autonomous, universes. (Popper, 1972, s 118)

Med hjälp av en tredelad uppdelning av de universa människor lever i skapar Popper en variant av den traditionella kunskapsteorin som utgår ifrån den traditionellt tvådelade uppdelningen mellan objektiva och subjektiva kunskaper. De båda motpoler som man brukar presentera är å ena sidan det som Popper (ibid) kallar den objektiva vetenskapliga kunskapen (värld tre) och å andra sidan den subjektiva formen av kunskap, eller den andra världen av kunskap,

vilken behandlar tros- eller subjektiva uppfattningar. Den första världen i Poppers triad av kunskapsuppfattningar är den fysiska världen, den värld vetenskapen behandlar.

Dessa båda kunskapsvärldar (värld två och tre) skulle något tillspetsat kunna beskrivas som de motsatta förhållningssätten till vilka motståndaren i debatter om vetenskapens natur brukar befästas med, men vilka dess företrädare aldrig själv vill kännas vid – relativism respektive objektivism.

För Popper är den objektiva kunskapen ett bevis för den vetenskapliga kunskapens framträdande roll, eller den tredje världens objektivitet, samtidigt som det framgår att det är en konstruerad kunskap av människor, eller av subjekt. Hur kunskap formuleras och prövas är något som Popper intresserat sig för och i denna uppsats skall jag fokusera framför allt på hypotesens roll för forskningen hos Popper, respektive hos några av de tidiga geologerna/geograferna vid 1900-talets början. 'The Method of Multiple Working Hypotheses' (1890) av T.C. Chamberlin, 'The Origin of Hypotheses, Illustrated by the Discussion of a Topographic Problem' av G. K. Gilbert, (1896) och 'The Value of Outrageous Geological Hypotheses' (1926) av W. M. Davis är alla publicerade i tidskriften *Science* och utgör viktiga insikter i den tidens geovetenskapliga förhållningssätt till sitt empiriska material.

När Popper beskriver den tredje världen beskriver han en idévärld, liknande den Platon en gång presenterat, men här en värld som har dynamiska (om än enkelriktat dynamisk) utvecklingsriktningar. Man kan notera hur Darwins evolutionslära blir ett mönster för hur även kunskap om världen skall förstås, där både slump och ordnad utveckling spelar viktiga roller. Precis som i naturen där viktiga utvecklingssteg tas på grund av slumpvisa händelser kan kunskap komma till oavsiktligt eller som en biprodukt till den förhandenvarande forskningen.

För Popper gäller även att objektiv kunskap växer, och att det finns en nära analogi mellan kunskapstillväxt och biologisk tillväxt (Popper, 1972, s 112). Om kunskap som inte växer till, talar Popper aldrig om. Detta ger en något ensidig beskrivning av den objektiva kunskapen, eftersom den kunskap som inte växer, såväl som den som står stilla redan med Popper skulle avfärdas som den andra världens kunskap, den subjektiva, och därmed som den för kunskapen om världen irrelevanta eller förkastbara kunskapen.

Internalism och externalism som demarkationskriterier

En annan orsak till att jag intresserat mig för detta material är den omdiskuterade distinktionen mellan 'context of discovery' och 'context of justification'. Denna uppdelning, har ofta använts för att fokusera på var gränsen mellan vetenskapsfilosofi och andra studier av vetenskap (t ex vetenskapshistoria, –psykologi eller –sociologi) går. Vetenskapsfilosofi har setts som en verksamhet vilken studerar vetenskapens logiska prövning, eller kritiska undersökning, medan frågor om hur upptäckter sker har ansetts irrationella och överlämnats till empiriska forskningsområden, vilka underordnas den förra. Distinktionen hör hemma och underhålls fortfarande av en positivistisk vetenskapsfilosofi, vilka daterar den tillbaka till antingen Hans Reichenbach, Karl Popper eller Wienkretsen omkring 1920-30, Kant, eller till och med Aristoteles och Euklides (Hoyningen-Huene, 1987). Dess fördelar har dock under senare delen av 1900-talet kommit att omprövas i takt med att hela vetenskapsteorin har fått en empirisk vändning i och med Kuhns bok. Jag tycker dock ändå att den är användbar för att precisera ett fokus i denna uppsats, nämligen att studera hur dessa forskare inom geologi/geografi, vid förra sekelskiftet, funderade över forskaren och dennes roll i upptäckarfasen.

I detta sammanhang vill jag också nämna Steven Shapins analys av externalism-internalismdebatten inom vetenskapsteorin (Shapin, 1992). Dess bakgrund är bland annat den

uppdelning mellan vetenskapsteori och vetenskapsstudier som Lakatos formulerat, vilken i David Bloor's *Knowledge and social imagery* (Bloor, 1976), blir en avstampspunkt för en ny vetenskapssociologi. För Lakatos kunde sociologin endast förklara vetenskapens felsteg i *externa* faktorer som maktpåtryckningar, ekonomisk påverkan eller ogrundad auktoritetstro, medan forskningens *interna* förhållanden endast kunde ha en logisk och "naturlig" orsak och utveckling. Denna allt för förenklade bild av vetenskapen anses i dag vara avfärdad i "Post-Kuhn'sk" vetenskapsteori, där det anses klart att interna och externa faktorer växelverkar med varandra i forskningen. Gradera av denna verkan är förstås fortfarande under debatt, men Shapin vill visa att den traditionella debatten om internalism/externalism var byggd på en felaktig och en uppdelning som är omöjlig att vidmakthålla, mellan det som kallas internt och externt. Framför allt den förenklade likställningen av externt och socialt, respektive internt och logiskt. "The usage is as commonplace as it is unjustifiable", utbrister (Shapin, 1992, s 348) och fortsätter:

There is as much 'society' within the scientific community, and scientific workplaces, as there is outside them. Scientific work is no less collective and coordinated than is everyday social life, and arguably it is much more so. (Ibid)

De uppdelningar, vilka bygger på att sociala påverkningar på vetenskapen alltid verkar utifrån på vetenskapen och med negativ inverkan kan alltså avfärdas här. Därmed kan inte heller den tidigare nämnda uppdelningen mellan "context of discovery" och "context of justification" vidmakthållas, då ingen av dessa processer kan anses vara å ena sidan ren externalism och å andra sidan ren internalism, vilket den traditionella uppdelningen inom vetenskapsfilosofi gör gällande.

FALLSTUDIUM: HYPOTESERNAS ROLL I FORSKNINGEN

I det följande, skall vi titta lite närmare på tre geologers texter om hypoteser, för att söka referenser i Poppers verk. Främst tre teman skall behandlas: frågan om demarkation mellan vetenskap och icke-vetenskap, fokusering på forskningens upptäckarfase, samt det evolutionistiska perspektivet på vetenskapens tillväxt genom hypotesprövningen.

Chamberlin: Multiple hypotheses

Thomas Chrowder Chamberlin (Chamberlin, 1890)¹ beskriver forskningens verksamhet som ett i första hand eget tänkande "for one's self" (ibid, s 92). Men det är inte nödvändigt att undersökningsmaterialet skall vara nytt, så länge tänkandets processer och dess resultat är individuella och oberoende och inte endast ett begränsat följande av tidigare tankebanor som slutar i redan förutbestämda resultat. Detta i grunden kreativa studium finner sin största tillämpning i sådana ämnen i där mycket redan är känt, men där ännu mera finns kvar att bli känt. Underförstått syftar Chamberlin här på det geologiska fältarbetet och geologins tillstånd vid slutet av förra århundradet.

Intellectuella metoder kan enligt Chamberlin beskrivas som en utveckling i tre faser (ibid):

1. the method of ruling theory

¹ Denna text av Chamberlin finns publicerad i två nästan identiska versioner av honom själv, i tidskrifterna *Science* och *Journal of Geology: The Method of Multiple Working Hypotheses* (Chamberlin, 1890 och 1897). Den finns även i tryck i de båda tidskrifterna 1931 och 1965, samt i *The Scientific Monthly* 1944. Dessutom finns texten nytryckt i en redigerad bok 1975 (CHAMBERLIN, 1890, 1897, 1931, 1944, 1965, 1975). Sammanlagt finns den alltså publicerad sex gånger, vilket måste räknas som anmärkningsvärt.

2. the method of the working hypothesis
3. the method of multiple working hypotheses

I de tidiga stadierna av intellektuell utveckling var kunskapsmängden begränsad och var nästan tillgänglig för den enskilda individen. Den som ansåg sig vara vis eller aspirerade på att anses vara så, kände en strävan att ha kunskap eller åtminstone verka ha kunskaper om allt som underbyggde deras anspråk. Det fanns en förväntan från massan att den lärde skulle förklara varje nytt ting som presenterade sig.

Thus pride and ambition on the one hand, and expectancy on the other, developed the putative wise man whose knowledge boxed the compass, and whose acumen found an explanation for every new puzzle which presented itself. (ibid, s 92)

Chamberlin vill dock göra upp med denna syn att allt okänt skall förklaras och tolkas allt för tidigt i forskningen:

Laudable as the effort at explanation is in itself, it is to be condemned when it runs before a serious inquiry into the phenomenon itself. A dominant disposition to find out what is, should precede and crowd aside the question, commendable at a later stage, "How came this so?" First full facts, then interpretations." (ibid, s 92)

Risken med att göra förhastade förklaringar är att man allt för tidigt kommer att formulera tentativa teorier. Deras förklaringar är farliga i det att de snabbt blir överförda till liknande fenomen så att det senare utvecklas en generell teori endast på basis av de överväganden som gav upphov till förklaringen av det första fenomenet.

It is in this tentative stage that the affections enter with their blinding influence. Love was long since represented as blind, and what is true in the personal realm is measurably true in the intellectual realm. Important as the intellectual affections are as stimuli and as rewards, they are nevertheless dangerous factors, which menace the integrity of the intellectual processes. The moment one has offered an original explanation for a phenomenon which seems satisfactory, that moment affection for his intellectual child springs into existence [...] So soon as this parental affection takes possession of the mind, there is a rapid passage to the adoption of a theory. (ibid, s 93)

The method of the ruling theory summeras av Chamberlin enligt följande:

Briefly summed up, the evolution is this: a premature explanation passes into a tentative theory, then into an adopted theory, and then into a ruling theory. (Chamberlin, 1890, s 93)

[...] the method of the ruling theory occupied a chief place during the infancy of investigation. It is an expression of the natural infantile tendencies of the mind, though in this case applied to its higher activities, for in earlier stages of development the feeling are relatively greater than in later stages. (s 93)

Dock antyder Chamberlin att denna form av forskning har haft sin tid. Så länge som forskningen sysslade med det ouppnåeliga, så kunde dessa tankar överleva, eftersom fenomenen själva var plastiska i händerna på 'the ruling idea', "[b]ut so soon as investigation turned itself earnestly to an inquiry into natural phenomena, whose manifestations are tangible, whose properties are rigid, whose laws are rigorous, the defects of the method became defect, and an effort at reformation ensued." (s 93)

Den andra fasen i Chamberlins schema benämns "the method of the working hypothesis". Till skillnad från "the ruling theory" söker man inte fakta som kan verifiera den teori som ställts upp. I stället söks fakta för att kunna ingå i en slutlig induktion eller demonstration där hypo-

tesen är ett medel för att kunna utröna fakta och deras relationer, samt för att arrangera och presentera materialet.

Men Chamberlin är inte tillräckligt nöjd med denna utveckling, eftersom han anser att distinktionen inte är tillräckligt stark och att det fortfarande finns risk för att affektionerna spelar forskaren ett spratt, så att arbetshypotesen degenererar till en 'ruling theory'.

För att motverka defekterna i de båda tidigare nämnda metoderna, för Chamberlin fram sin egen metod, "the method of multiple working hypotheses". "It is directed against the radical defect of the two other methods; namely, the partiality of intellectual parentage." (s 93)

The effort is to bring up into view every rational explanation of new phenomena, and to develop every tenable hypothesis respecting their cause and history. The investigator becomes the parent of a family of hypotheses; and, by his parental relations to all, he is forbidden to fasten his affections unduly upon any one. (s 93)

Dessutom ger metoden om multipla arbetshypoteser möjlighet till att formulera komplexa förklaringar, vilka Chamberlin menar vara mer i linje med verkligheten. Hans exempel är de stora sjöarnas uppkomst. Via någon av de tidigare nämnda metoderna skulle en enstaka förklaring kunna verifiera deras tillkomst, medan en annan teori samtidigt skulle göra en annan förklaring. En förklaring skulle kunna vara att det redan fanns dalgångar, vilka via avlagringar från inlandsisen täppts till, så att sjöarna uppkommit. En annan förklaring skulle vara att de var täckta av stora isblock, vilka kalvat från den återdragande inlandsisen och därmed skapat urholkningen. Chamberlin själv för in en tredje förklaring till den pågående debatten, nämligen att jordens skorpa just på dessa platser är välvd neråt och att sjöarnas uppkomst till dels beror på skorpan deformation. Var för sig blir dessa förklaringar i motsatsställning till varandra, men med Chamberlins metod kan de i stället verka underbyggande för varandra. (s 93-94) Sådana förklaringar benämner Chamberlin komplexa förklaringar.

Det är intressant att notera de pedagogiska utkomster av metoden som Chamberlin utvecklar, eftersom den har ett samband med en viktig fråga inom vetenskapsteorins klassiker, nämligen med frågor om demarkation mellan vetenskap och icke-vetenskap. Chamberlin menar nämligen att de fördelar som kommer med att en person har utvecklat förmågan att tänka genom multipla arbetshypoteser, även är tillämpliga vid undervisning, så väl som till livets praktiska angelägenheter.

The methods that are superior in scientific investigation should likewise be superior in those investigations that are the necessary antecedents to an intelligent conduct of affairs. (s 94)

Flera skäl anges för detta, bland annat att multipla hypoteser hjälper oss att se saker ur många synvinklar, att metoden tillåter komplexa fenomen, till exempel att medmänniskors agerande kan utövas i kontrast till deras karaktär, så att gott kan komma ur ett ont uppsåt, eller att multipla arbetshypoteser leder till att vi lättare upptäcker våra egna kunskapers ofullständighet, när flera möjliga kombinationer för hypotesernas sammansättning kan existera.

I am confident, therefore, that the general application of this method to the affairs of social and civic life would go far to remove those misunderstandings, misjudgments, and misrepresentations which constitute so pervasive an evil in our social and our political atmospheres, the source of immeasurable suffering to the best and most sensitive souls. (s 96)

Davis: Outrageous hypotheses

William Morris (Davis, 1926) börjar med att drömma sig tillbaka ett halvsekel till en tid då geologiska konferenser innefattade stora kontroverser mellan forskare som med affektion för-

fäktade sina respektive teorier, inte helt olika dem som vi sett Chamberlin förkasta ovan. Detta var en tid då den vetenskapliga fantasin, på den tiden inte så hämmad som nu av standardiserade principer, kunde fara vida över ännu inte utforskade fält av geologiska undersökningar. Författaren ser en stark kontrast till dagens geologi som kommit att bli en relativt välavgränsad och välavgränsad disciplin. Davis hyllar hur mycket mer omsorgsfullt fakta granskas, och hur mycket större och säkrare den induktiva basen för generaliseringar är, samtidigt som han höjer ett varnande finger för den specialisering, i både ämne och lokalitet som forskningen allt mer har fått. "Riskerar vi inte att nå ett stadium av teoretisk stagnation?", utbrister Davis, och refererar till en period en generation tidigare i fysiken, då hela dess fält tycktes uttömt.

Davis ser fysikens stora genombrott vid början av 1900-talet som mönster för geologins framtida utveckling, men intressant nog, inte för dess välordnade metoder och teorier, utan i stället för dess förmåga till omvälvningar av tidigare accepterade principer. Han framhåller värdet av vad han kallar 'outrageous hypotheses'² för att nå framsteg i geologin precis som i andra vetenskaper. Hans exempel är flerfaldiga från geologihistorien, där man om man tittar i backspegeln kan se hur många av den tidens accepterade fakta, vid tiden för deras första uppträdande i vetenskapshistorien ansågs vara just skandalösa eller överdrivna. Bland exemplen ges såväl sådana som ofta anses härröra från en strid med en biblisk syn på jordens historia, som t ex att tolka fossil som vittnesbörd för forntida liv, evolution, eller teorin om att jorden upplevt glaciala perioder, till mer inomvetenskapliga dispyter där Davis överväger möjligheten att inkorporera "the Wegener outrage of wandering continents" (Davis, 1926) i den aktuella kunskapsmassan om jorden.

I många fall har det vetenskapliga arbetet, när större upptäckter av den typ som nämnts ovan gjorts, inte handlat om att få upptäckten att passa den etablerade teorin, utan i stället att omformulera den sammanställda bilden av jorden. I Davis schema innebär inte detta förhållande någon revolution i Kuhnsk mening, utan kan ske relativt obemärkt för vardagslivets frågor:

And so it has been with one of these outrages after another: their accommodation is easily accomplished by merely replacing one concept of the earth, under which they are unacceptable, by another under which they are acceptable; and the replacement once made, we are just as happy as we were before. (Davis, 1926, s 645)

Davis slutsats är att vi måste vara medvetna om att vi inte får hålla fast vid våra föreställningar om jorden så hårt, att vi, när de förr eller senare ställs på ända, drabbas av mentala obehag.

Gilbert: The origin of hypotheses

Grove Karl Gilbert är ännu en geovetare som vid förra sekelskiftet utvecklade en hypotes om hypoteser (Gilbert, 1896). Han kallar hypotesen en 'vetenskaplig gissning', vilken forskaren använder för att formulera en hypotes eller tentativ teori över ett faktum eller grupp av fakta som denne valt att undersöka. Nästa steg i forskningsprocessen är att testa hypotesen, vilket utförs genom att man prövar hypotesen genom att söka efter deducerbara förutsägelser om speciella egenskaper fenomenet som fenomenet uppvisar. Om fenomenet med dess egenskaper verifierar hypotesen så anses teorin understödd och om de egenskaper som förutsägs är talrika och varierade, så accepteras teorin som tillfredsställande. Men om prövningen av hypotesen uppenbarar egenskaper vilka är oförenliga med den tentativa teorin anses teorin därmed diskrediterad och forskaren fortsätter med att formulera en ny hypotes. (Gilbert, 1896)

² Varje översättning i Norstedts engelsk-svenska ordbok har en negativ konnotation, men det är uppenbart att denne gamle geograf var ute efter just en sådan kraftig innebörd: outrageous [aʊtˈreɪdʒəs] *adj* 1 skandalös, upprörande, skändlig [- *treatment*]; skymflig, kränkande [- *epithets*] 2 överdriven, omåttlig; fantastisk 3 våldsam, ursinnig

Ofta sker denna prövning av hypoteser i kollektiv form, meddelar Gilbert, där flera forskare för fram sin egen hypotes. Deras olika tentativa teorier blir rivaler som tävlar om inflytande och deras författare är även de rivaler, vilka är ärelystna för att få erkännande för upptäckten.

The personal factor thus introduced tends to bias the judgment and is to that extent unfavorable to the progress of science; but the conflict of theories, leading, as it eventually must, to the survival of the fittest, is advantageous. Fortunately there is a mode of using hypotheses which regulates the personal factor without restricting the competition of theories, and this has found favor with the greatest investigators. (Gilbert, 1896, s 2)

Detta sätt att använda hypoteser är T. C. Chamberlins multipla arbetshypoteser som vi tittat på tidigare. I detta fall verkar inte de multipla hypoteserna förekomma i en enskild forskare, utan de kan verkar kunna vara spridda mellan forskarna.

Forskarens verksamhet består i två steg: att uppfinna hypoteser och att uppfinna test för dem. Men den process, genom vilken hypoteser uppstår är svårfattlig, säger Gilbert, men han för fram en egen hypotes om hypoteser, vilken säger att "hypotheses are always suggested through analogy" (Ibid). Han tar oss därefter med på något så ovanligt som en "Latouriansk studie" över sin egen forskning. Den som minns Boa Vista-studien i *Pandoras Hope* (Latour, 1999) om huruvida skogen eller stäppen bredde ut sig får en känsla av hur Gilberts text utvecklar sig. I Gilberts fall rör det sig om en krater i norra Arizona, vars tillblivelse rönt mycket intresse. Han beskriver kraterns upptäckt av en grupp herdar, vilka trodde sig ha funnit silver utspritt runt omkring kratern. Det visade sig dock vara solitt järn och deras uppfattning var att kratern och de utspridda järnklumparna var resultat av en explosion, vilket Gilbert överväger en tid. Järnet i solid form, vilket hade befunnits på många platser i området, gav upphov till att ett intresse för gruvdrift tilldrog sig, men efter att en bit järn studerats av en mineralog, kunde det avgöras att det var av celest ursprung, alltså från en meteorit. Allt detta tilldrog sig innan Gilbert hade hört om fyndet, men vid en konferens för American Association for the Advancement for Science, fick han intresse för fenomenet och erbjöd en egen hypotes för kraterns tillblivelse. I analogi till jordens tillblivelse, vilken ansågs ha skett genom sammanslagning av flera mindre himlakroppar, hade han kommit att undra vad som skulle ske, om ytterligare en liten stjärna (sic!) sammanfogades med jorden. Denna hypotes prövas mot experiment med impaktorer i olika material (t ex vattendroppe i gyttja, en sten i lera, samt en stålprojektil mot stålpansar), i allt större ordning för att kunna göra analogin till en asteroiders kollision med jorden möjlig. Vi får vidare se hur Gilbert prövar sin hypotes mot fakta han erhåller vid undersökningar på platsen, så att fyra hypoteser utkristalliserar sig, 1. explosionshypotesen från herdarna, 2. vulkaniskt ursprung, vilket avvisas med att kratern befunnits i sedimentära och inte i vulkanogena bergarter, 3. att kratern är orsakad av en kollision med en stjärna och slutligen, 4. att kratern är resultatet av en ångexplosion. Vi får följa hur Gilbert planerar 'crucial tests' för att utröna om 3. eller 4. är den verkliga orsaken till kratern. Bland dessa test kan nämnas topografiska analyser av kraterns utseende och form, förekomsten av magnetiska avvikelser i kraterområdet, samt numeriska beräkningar på krater och eventuell impaktors storlek. Gilbert kommer sedan till en slutsats, att kratern är ett resultat av en ångexplosion.

När detta är sagt, gör han dock en helomvändning och för in nya fakta som har tillsänts honom om en eventuell meteorits sammansättning, vilken skulle kunna öppna upp den lösning som Gilbert trodde sig ha börjat säkerställa. Eftersom Gilbert just intresserar sig för hypotesens metod tar han utan tvekan emot dessa nya fakta och utbrister:

This illustrates the tentative nature, not only of hypotheses of Science, but of what Science calls its results. The method of hypotheses, and that method is the method of Science, founds its explanations of Nature wholly on observed facts, and its results are ever subject to the limitations imposed by imperfect observation. However grand, however widely accepted, however useful its conclusion, none is so sure that

it can not be called into question by a newly discovered fact. In the domain of the world's knowledge there is no infallibility. (Gilbert, 1896, s 12)

Det är här inte min uppgift att utveckla dessa tidiga geologers vetenskapliga gärningar, eller de här förekommande resultatens korrekthet vidare (se t ex (Baker, 1996Pyne, 1978)), då detta inte faller inom ramen för denna uppgift. I stället skulle det vara intressant att undersöka om och i vilken mån dessa tankar kan avspeglas i Karl Poppers verk, en vetenskapsfilosof som ofta rankas som en av 1900-talets stora och vars verk står högt i kurs inom geovetenskaperna (Rhoads & Thorn, 1994).

DISKUSSION

Popper och vetenskapens evolutionära egenskaper

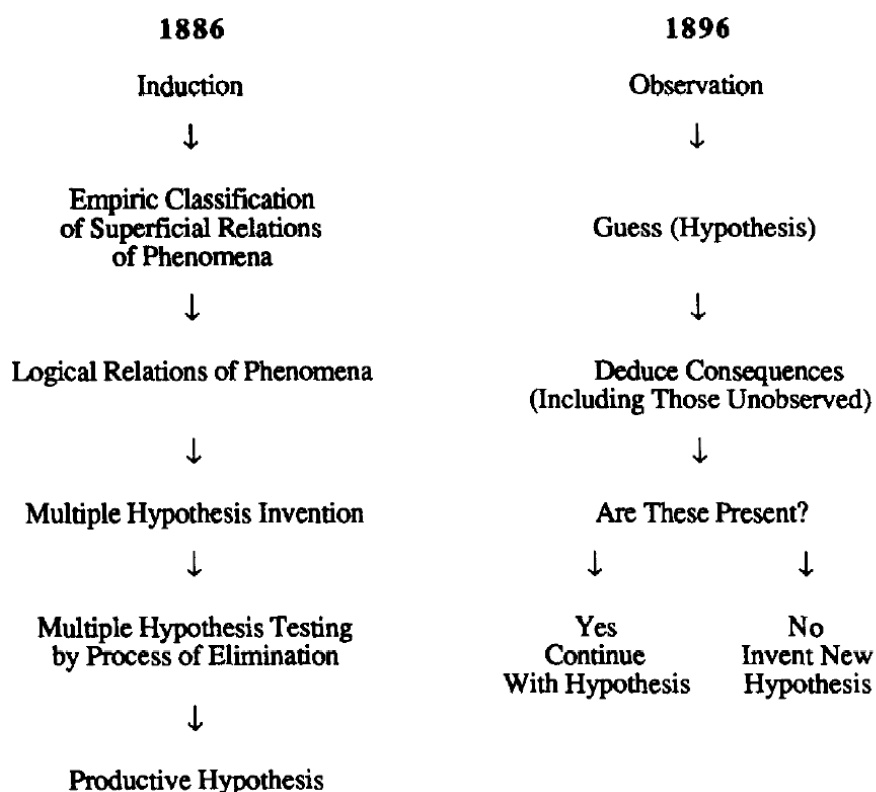
”Djärva idéer är nya, vågade, hypoteser eller gissningar. Och allvarliga försök att vederlägga dem är strikta kritiska diskussioner och stränga empiriska tester.” (Popper, 1997 (1934), s 128). Med endast detta citat, kan vi sammanfatta mycket av de ovanstående diskussionerna från några av det förra sekelskiftets stora geologer.

Poppers schema över hypotesprövning kan ställas upp som riktpunkt mot vilket vi kan granska metoder dessa forskares metoder:

(BK) $P \rightarrow TT \rightarrow EE \rightarrow P'$ (Popper, 1972)

Popper menar alltså att all forskning initieras genom problem. Utifrån bakgrundskunskapen, BK, formuleras ett problem, P. Vi ställer upp en hypotes, tentative theory, TT, som sedan prövas, error elimination, EE. Vad som blir kvar används som utgångspunkt för att formulera ett nytt problem, P'

Victor Baker (Baker, 1996) presenterar en schematisk sammanställning (Figur 1) av två versioner av Gilberts metoder över hypotesprövning vilka i stort sätt kan sägas överensstämma med Chamberlins (1890), respektive Gilberts (1896) metoder som vi gått in på tidigare. Dessa kan generaliseras till att uppvisa en positivistisk (1886) verifikationspräglad metod och den senare (1896) en fallibilistisk metod. Gilbert använder i sin metod inte falsifiering på det sätt som Popper senare skulle utveckla den tesen, men det framkommer tydligt hos honom, såväl som hos Chamberlin och Davis, den tentativa roll som all vetenskaplig kunskap har.



Figur 1: Gilberts metoder för hypotesprövning (ur: Baker, 1996, s 203)

Den evolutionära bilden av forskningen är också tydlig. Gilbert refererar till "the survival of the fittest" som ett den process varvid hypoteser prövas när flera forskare i kollektivet tävlar om vilken teori som skall erkännas. Hos Chamberlin sker denna metodologiska urvalsprincip hos en enskild forskare, vilken genom att formulera så många hypoteser och test för dessa som möjligt, ansågs kunna avskilja sig från ett allt för känslomässigt (subjektivt) faderskap till sin egen tes.

Elzinga (1997) har noterat samma inspiration från Darwins utvecklingslära hos den svenske forskaren Svante Arrhenius, vilken vi funnit såväl hos de tre författarna jag studerat här som hos Popper. Arrhenius utvecklingsoptimism syns starkt i hans populärvetenskapliga *Människan inför världsgåtan* från 1909.

Here we find [his strong developmental optimism] predicated on a Darwinian view of life, which is also projected into the scientific landscape, where it becomes a question of the struggle between rival hypotheses and the survival of the fittest ones. In other words, he subscribed to a kind of epistemological Darwinism; such philosophies of science have indeed been elaborated by professional philosophers, like Karl Popper and others who speak of an evolutionary epistemology. (Elzinga, 1997, s 76)

Naturalism

En annan fråga, vilken gör sig påmind när man studerar dessa geovetenskapliga tidiga "naturalister", som de kallar sig, är att vi i nutida vetenskapsstudier återkommer till detta begrepp, "naturalism", när Steven Shapin påpekar att vetenskapsfilosofi aldrig tagit notis om "the naturalistic stories told by historians and sociologists" (Shapin, 1992, s 336).

Även om man får vara beredd att ta långa tankekliv för att hitta några direkta kopplingar, så finns det ändå frön till en sådan antydning. Den naturalism som Shapin talar om, handlar mycket om att följa forskare och faktiskt se vad de gör, i stället för att fokusera på hur forskning bör göras. Likaså för geovetenskapen som en explorativ forskningsverksamhet, där det i stället är naturen man vill följa, i stället för att teorier och modeller, baserade på felaktiga premisser. Ett exempel på detta är Chamberlins försvar mot ett angrepp mot geologin 1899 av lord Kelvin. Denne förkastar en stor del av geologins teori om jordens tillblivelse, genom att visa att jorden, enligt premissen att den en gång var glödande het och långsamt svalnar av, inte skulle ha kunnat hinna med att utvecklas under den tidsskala som kvantitativa beräkningar om en avsvallande jord medger, ett värde som lord Kelvin beräknar till mellan 20 och 40 miljoner år. Chamberlins svar på detta är att angripa Kelvins metod:

The fascinating impressiveness of rigorous mathematical analysis, with its atmosphere of precision and elegance, should not blind us to the defects of the premises that condition the whole process. (Chamberlin, 1899, s 890)

Efter att ha redogjort för Kelvins omdömen om sin egen beräkning, om deras "säkerhet", "fastställda sanningar", samt att det "inte existerar några möjliga alternativ", påpekar han att:

It is here candidly revealed that the most essential factor in his [Lord Kelvin's] reasoning rests ultimately on an *assumption*, an assumption which, to be sure, he regards as 'very sure' but still is an assumption. (Ibid, s 891, kursivering i original)

Han fortsätter sedan med att skamlöst notera att hans egen metod inte har begagnats i Kelvins analys:

The method of the multiple working hypotheses, which is peculiarly imperative when assumptions are involved, is quite ignored. (Ibid)

Demarkation

I vilken mån håller dessa tre forskare fast vid ett demarkationskriterium för vetenskapen som senare skulle formuleras av Popper som ett sökande att formulera djärva vetenskapliga hypoteser, "tillsammans med beredskapen att hålla utkik efter tester och vederläggningar, som skiljer 'empirisk' vetenskap från icke-vetenskap. (Popper, 1997 (1934), s 132, kursivering i original).

Gör de tre forskarna vi studerat i denna text en stark avgränsning mellan vetenskap och icke-vetenskap, mellan objektiva och subjektiva påståenden, och i så fall, menar de att det är möjligt att formulera slutgiltig sanning?

Chamberlin, menar att forskningens mål är att finna objektiv sanning, men jag tolkar det som att han inte menar att det är möjligt att slutgiltigt avskilja forskaren från det utforskade. Hans metod att formulera multipla arbetshypoteser fungerar i stället som ett försök att minska den "faderliga affekt" som han skriver, till en enskild hypotes.

I en mening kan man säga att det inte finns någon demarkation i denna metod, eftersom Chamberlin menar att den även är tillämplig i det vardagliga livet, just på grund av att den medför ett komplext tänkande. Han tror till och med att den kan motverka social och politisk ondska.

Hos Davis finns uppropet för forskare att formulera "outrageous hypotheses" och ett noggrant prövande av fakta. Hans tankar leder därför till att vi därför måste vara så mycket mer villiga att omformulera vetenskapens samlade massa i ljuset av dessa djärva, eller överdrivna hypoteser. Här finner vi samma vurmande för de djärva hypoteserna vilka utsträcks av Davis till att bli nästan dumdristiga.

Gilbert, å sin sida uppvisar ett schema för metoden att pröva hypoteser vilken i hög grad överensstämmer med Poppers. Där finns även ett framhållande att vetenskapliga hypoteser, såväl som dess resultat har en tentativ natur och hans slutsats att det inte existerar någon infallibilitet i kunskapens värld.

Chamberlin drar sig dock länge för att använda begreppet vetenskap om den verksamhet han beskriver. Han nämner "study, explanations, investigations och intellectual methods", och det är först när han säger att vi sällan tänker på MMWH som tillämpbara för lärande eller livets praktiska angelägenheter. Först då nämner han ordet vetenskap första gången: "We have usually regarded it as but a method of science" (Chamberlin, 1890, s 94).

Jag ser detta som ett inlägg i demarkationsfrågan, om var gränsen går mellan vetenskap och icke-vetenskap. Demarkationer kan som vi sett tidigare beskrivas på olika sätt. En av de demarkationer som Aristoteles föreslog skilde mellan know-how och know-why. Praktisk och teoretisk kunskap kom då att skiljas åt, och kan väl fortfarande, med referens till 1900-talets två stora vetenskapsfilosofiska traditioner, positivism och falsifikationism fortfarande anses skilda åt.³ Hos de tre geologerna finner vi dock många referenser till deras eget praktiska kunnande som egenskaper vilka befrämjar deras vetenskapliga gärning. Hos såväl Chamberlin som Gilbert är den praktiska egenskapen hos forskaren viktig. Hos Chamberlin framkommer den främst i forskarens egenskaper av att vara observatör eller uttolkare av landskapet där hans metod fungerar som en metafor för ett komplext tänkande som krävs för att kunna tolka ett komplext landskap. Hos Gilbert däremot finns även instrumentalismen beskriven, när han mobiliserar verktyg och instrument för att formulera avgörande test, vilka skulle kunna stärka hans hypoteser. Även om vi inte finner samma beskrivning av forskningen i Davis, som mycket mer talar inom en domän, så menar jag att man kan tolka hans uppmaning till våghalsigheten eller dumdristigheten i att sticka ut hakan och formulera "outrageous hypotheses" baserat på sitt geologiska fältarbete, som ett upphöjande av det praktiska i forskningsarbetet, fältarbetet och kreativiteten i att välja hypoteser.

Den främsta motivationen för att förbättra de vetenskapliga metoderna i och med att formulera "the method of multiple working hypotheses" är enligt Chamberlin att utveckla förbättrade metoder för den kreativa forskningsfasen. Men för Chamberlin finns även en pedagogisk vinst att göra, och detta är den eklektiska poäng som ofta förekommer i aktuella diskussioner om vetenskapens teori och metod inom geovetenskaperna, nämligen den (med ett annat och eventuellt utbytbar begrepp) pragmatiska poängen att det är bäst att välja den metod eller vetenskaplighet som passar för de syften som en bestämd uppgift har att fylla. Eklekticism anges ofta som ett begrepp med negativ innebörd, då det kan användas för att markera amatörmässighet eller ett "Anything goes" av typen "man tager vad man haver", men jag skall inte gå in på det mer i denna diskussion än att säga att ett visst mått av öppenhet inför de möjligheter som står till buds kan anses positivt om man samtidigt kan visa att det är ett informerat val baserat på välgrundade och medvetna premisser.

Vidare kan man i Chamberlins text finna ett brott mot den absoluta demarkationen mellan vetenskap och vetenskap, som ju om vi härddrar Aristoteles epistemiska kriterium om att vetenskapen är absolut grundad och åsikter däremot skulle vara ogrundade, som Laudan formulerade det tidigare i texten. För Chamberlin menar att det finns skäl att tro att hans method of multiple working hypotheses även är tillämpliga även för att lösa vardagslivets problem. Vi noterade tidigare några skäl till detta, bland annat hur det komplexa tänkandet på flera plan samtidigt, bättre svara mot en komplex värld som möter oss i vardagslivet, eller som Chamberlin säger, att metoden hjälper oss att lättare upptäcka våra egna kunskapers ofullständighet.

³ Dock, notera att jag här bortser från vissa förslag från hermeneutikens och andra humanvetenskapers håll att sätta fokus på en tredje kunskapsform av vishet i grekiskans *fronesis* (Se t ex (Bernstein, 1987)).

Det är dock viktigt att slå fast att vi här talar om en enkelriktad upplösning av demarkationen mellan vetenskap och icke-vetenskap som framgår här. Det är endast vardagslivet som skall öppna sig för en vetenskaplig metod att formulera flerfaldiga tankar om livet så som det uttrycker sig, medan vetenskapen inte förväntas föga sig efter någon vardaglig princip.

Från demarkation till en komplex vetenskap om en komplex värld

Nancy Cartwright har inom en mer filosofiskt inriktad vetenskapsteori formulerat en bild av vetenskapen som hon kallar "the dappled world", vilken inte riktigt följer standardbeskrivningen av vetenskapen som höjdpunkten på det logiska tänkandet. Till skillnad från en vetenskapssociologisk vetenskapsteori, vilken betonar en deskriptiv och en (om än inte uteslutande, se (Shapin, 1992) extern vetenskaplig beskrivning, formulerar Cartwright internalistisk vetenskapsteori med normativa motiv att förändra vetenskapens utövande.

Hennes bild av vetenskapen kan i några fall jämföras med de tre geologernas, och kanske främst Chamberlins förhållande till en värld av komplexa företeelser. Hon framför också kritik mot varje form av enhetsvetenskaplig verkan hos vetenskapen, att kunna reduceras till den (fysikaliska) vetenskapliga metoden, eller till en tro att enkelhet och regelbundenhet är egenskaper som vetenskapliga teorier utmärks av. Så också i de geologers texter som vi studerat här. Där finner vi först och främst en pragmatisk läggning att inte sätta sin yttersta tilltro till stora teoribyggen eller matematiska metoder, när de motsägs av observationer eller till och med av intuitioner, som Davis uttrycker det: "we merely make a pragmatic choice between the concept [...] which seems to us absurd, and [...] which seems to us reasonable" (Davis, 1926, s 466). Samma inställning finner vi hos Chamberlin i debatten med Lord Kelvin om jordens ålder.

I detta sammanhang kan jag också känna igen Cartwrights realism som i motsats till fysikens instrumentalism och exakthet i laboratoriets slutna system, inte ens kan approximativt deduceras naturliga fenomen från teorier på det sätt som fysiken tror att dess teorier är applicerbara.

The point is that the claims to knowledge we can defend by our impressive scientific successes do not argue for a unified world of universal order, but rather for a dappled world of mottled objects. (Cartwright, 2001, s 10).

En tydlig relation till den diskussion om öppna och slutna system som framförs av Ludwig von Bertalanffy är synlig här. Hans *General Systems Theory* (von Bertalanffy, 1968) har kommit att få stor betydelse för naturgeografins utveckling under 1960-talet, vilket han även själv noterar (ibid, s 102). Slutna system är just det som Cartwright tar upp som fysiklaboratoriets arena, där experimentuppställningen kan kontrolleras på så sätt att teorin med dess modell av verkligheten och det uppmätta fenomenet som studeras kan finjusteras för att passa ihop med varandra. Verkliga, eller naturliga fenomen, som Cartwright uttrycker det, verkar i öppna system i vilka fysikens bästa teorier sällan fungerar, eller åtminstone endast i begränsad utsträckning:

For, to all appearances, not many of the situations that occur naturally in our world fall under the concepts of these [fysikens bästa teorier] theories. (Ibid, s 9)

Samtidigt finner jag en viss dissonans mellan Cartwrights och geologins resonemang om komplexitet och universalitet, vilket jag får låta bli avslutningen på denna uppsats. Geovetenskapen (och jag tar naturgeografi och geomorfologi vilken sätter fältarbetet lika högt som matematik och fysik bland forskningsmetoderna som exempel) har ett nära förhållande till komplexitet (Chamberlin, 1890), öppna system (Chorley & Kennedy, 1971), och kaos (Phillips, 1992), så väl som uttryck för ett "reenchantment of nature" (Baker & Twidale, 1991). Men där finns samtidigt ett behov av regelbundenhet och oföränderlighet i naturens grundvalar. Jag har i andra sammanhang tagit upp "uniformitarianism" vilket enligt Gould (Gould, 1987) är en av den tidiga geologins (med James Hutton och den av Darwin beundrade Charles Lyell som främsta

utövare vid tiden mellan 1780 och 1830) främsta gåvor till vetenskapen. Denna princip säger ungefär att de processer som verkar på jordytan idag, är samma processer som verkade i går, och i all framtid. Alltså, att inga nya naturkrafter kan komma att uppstå eller försvinna, även om de olika eroderande och uppbyggande krafterna förstås kan variera relativt varandra i inbördes styrka. Detta, om något kan benämnas en tilltro till regelbundenhet och lagbundenhet och rimmar illa med den komplexitet som både Chamberlin och Cartwright ser i naturliga fenomen. Detta är dock en annan fråga, till vilken jag hoppas återkomma i framtiden.

L I T T E R A T U R :

- Baker, V. R. (1996). The pragmatic roots of American Quaternary geology and geomorphology. *Geomorphology*, 16, 197-215.
- Baker, V. R., & Twidale, C. R. (1991). The reenchantment of geomorphology. *Geomorphology*, 4, 73-100.
- Bernstein, R. J. (1987). *Bortom Objektivism och Relativism. Vetenskap, hermeneutik och praxis*. Göteborg: Röda Bokförlaget.
- Bloor, D. (1976). *Knowledge and social imagery*. London: Routledge.
- Cartwright, N. (2001). *The Dappled World. A Study of the Boundaries of Science*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Chamberlin, T. C. (1890). The method of multiple working hypotheses. *Science*, 15(366), 92-96.
- Chamberlin, T. C. (1897). The method of multiple working hypotheses. *Journal of Geology*, 5, 837-848.
- Chamberlin, T. C. (1899). Lord Kelvin's Address on the Age of the Earth as an Abode Fitted for Life. *Science*, 9(235), 889-901.
- Chamberlin, T. C. (1931). The method of multiple working hypotheses. *Journal of Geology*, 39(2), 155-165.
- Chamberlin, T. C. (1944). The method of multiple working hypotheses. *The Scientific Monthly*, 59(5), 356-362.
- Chamberlin, T. C. (1965). The method of multiple working hypotheses. *Science*, 148(3671), 754-759.
- Chamberlin, T. C. (1975). The method of multiple working hypotheses. In A.-C.-C. Jr. (Ed.), *Philosophy of geohistory; 1785-1970*. (Vol. 13, pp. 126-131). Stroudsburg, Pa.: Dowden, Hutchinson & Ross, Inc.
- Chorley, R. J., & Kennedy, B. A. (1971). *Physical Geography. A Systems Approach*. London: Prentice-Hall.
- Davis, W. M. (1926). The Value of Outrageous Geological Hypotheses. *Science*, 63(1636), 463-468.
- Elzinga, A. (1997). From Arrhenius to Megascience: Interplay between Science and Public Decisionmaking. *Ambio*, 26(1), 72-80.
- Gilbert, G. K. (1896). The Origin of Hypotheses, Illustrated by the Discussion of a Topographic Problem. *Science*, 3(53), 1-13.
- Gould, S. J. (1987). *Time's arrow, time's cycle. Myth and metaphor in the discovery of Geologic time*. Cambridge, Massachusetts and London, England: Harvard University Press.
- Hoyningen-Huene, P. (1987). Context of Discovery and Context of Justification. *Studies in History and Philosophy of Science*, 18(4), 501-515.
- Latour, B. (1999). *Pandora's Hope. Essays on the Reality of Science Studies*. Cambridge, Ma.: Harvard University Press.
- Laudan, L. (1996). The Demise of the Demarcation Problem. In *Beyond Positivism and Relativism* (pp. 210-222). Boulder: Westview Press.

- Phillips, J. D. (1992). Qualitative chaos in Geomorphic systems, with an example from wet-land response to sea level rise. *Journal of geology*, 100, 365-374.
- Popper, K. (1972). Epistemology Without a Knowing Subject. In *Objective Knowledge. An Evolutionary Approach*. Oxford: Clarendon Press.
- Popper, K. (1997 (1934)). Demarkationsproblemet. In D. Miller (Ed.), *Karl Popper i urval*. Stockholm: Thales.
- Pyne, S. J. (1978). Methodologies for Geology: G. K. Gilbert and T. C. Chamberlin. *Isis*, 69(3), 413-424.
- Rhoads, B. L., & Thorn, C. E. (1994). Contemporary philosophical perspectives on Physical Geography with emphasis on Geomorphology. *The geographical review*, 84, 90-101.
- Shapin, S. (1992). Discipline and Bounding: The History and Sociology of Science as seen through the Externalism-Internalism Debate. *History of Science*, 30(333-369).
- von Bertalanffy, L. (1968). *General Systems Theory. Foundations, Development, Applications. Revised Edition*. New York: George Braziller.