

Selitykset, mallit ja systeemit biologiassa

Tarkastelua tiedon esittämisestä systeemibiologiassa

Kalle Virtanen

Tampereen yliopisto

Yhteiskunta- ja kulttuuritieteiden yksikkö

Filosofian pro gradu-tutkielma

Toukokuu 2016

Tiivistelmä

Tampereen yliopisto

Yhteiskunta- ja kulttuuritieteiden yksikkö

Kalle Virtanen

Selitykset, mallit ja systeemit biologiassa – Tarkastelua tiedon esittämisestä systeemibiologiassa

Filosofian pro gradu -tutkielma, (120 sivua)

Huhtikuu 2016

Biologia ei ole tieteen kentällä mikään uusi tieteenala. Biologia oli pitkään luonteeltaan niin sanotusti vitalistinen tiede, jolla oli tieteen historiassa hyvin pitkään omat sääntönsä ja käsitteensä riippumatta ns. fundamentaalitieteistä, kuten fysiikasta, perustuen siihen, että elämä ja täten elämäntieteet katsottiin olevan jokseenkin oma luokkansa.. Kuitenkin modernit tieteenfilosofiset mallit ja näkemykset pakottivat biologian altistumaan ajatukselle fundamentaalisesta tieteestä, joka käytännössä tarkoitti lakeihin ja aksioomiin perustuvaa fysiikkaa. Biologiasta tuli siis elämäntieteen sijaan konkreettinen ja käytännöllinen tiede, joka alistui enemmän tai vähemmän näkemykselle siitä, että kaikki olisi jopa biologiassa selitettävissä ns. fundamentaalitieteiden tapojen mukaisesti. Pian kuitenkin kävi ilmi, että biologia ei tieteenä sovellu näihin malleihin ja etenkin redusointiin perustuvaan tieteseen, ja tarvittiin uusia näkemyksiä että metodologioita sovittaa tämä kiistatta merkittävä tiede vastaamaan modernin tieteen omia määritelmiä siten, miten tieteenfilosofia näki tieteen tekemisen ja sen tuottaman tiedon olevan. Tästä seurasi solu- molekyyli- ja systeemibiologian kautta tietynlainen kehitymisspiraali tieteellisen selittämisen, mallintamisen ja systeemiorientaation orientaation mukaisesti.

Tämä teksti käsittelee sitä, minkälaisia ongelmia biologia tieteenä kohtasi tieteenfilosofian painostuksesta ja miten biologia reagoi näihin painostuksiin tavalla, jota biologian tekijät eivät varmasti osanneet odottaa. Idea on siis siinä, että tieteenfilosofian näkemykset pyrittiin sovittamaan biologiaan siten, miten niitä sovellettiin mm. fysiikkaan. Tämä teksti on pitkä matka tieteenfilosofiasta biologian kehityksen kautta kutakuinkin siihen, missä biologia on nyt ja miten tieteenfilosofiset mallit muuttuivat kuten käsitteet tieteestä itsestään. Tämä teksti tarkastelee moderneja selitysmalleja ja systeemitason asenteita koskien modernia biologiaa suhteessa nykyaikaiseen tieteenfilosofiaan. Tarkoitus ei ole luoda eroja, vaan löytää vastaavaisuuksia tässä vaikeassa skenaariossa. Tekstin tarkoitus on näyttää, että vaikka tilanne on vaikea, moderni tieteenfilosofia omaa työkalut käsitellä niinkin vaikeaa asiaa kuin biologia ja sen monet, jopa tuoreet, kehityssuunnat. Lyhyesti sanottuna tämä teksti kuvaa deskriptiivisesti sitä matkaa, jota tieteenfilosofia vaati biologialta, mutta biologia meni tieteenfilosofian edelle. Seuraukset olivat jokseenkin odottamattomia ja systeemibiologia tuoreimpana ei-soveltavana tieteenä joskin kontrolloi sitä, minkälaisia tieteenfilosofisia selityksiä, malleja ja metodeja käytetään.

Sisällysluettelo

1	Alkusanat	1
1.1	Työn näkökulma ja rakenne	2
2	Tieteellinen selittäminen yleisesti	3
2.1	Selitys ja ymmärrys	3
2.1.1	Selitysten ominaisuuksista	8
3	Selitysmallit	17
3.1	Nomologian ihanne	17
3.2	Syyt, seuraukset ja päämäärät	25
3.3	Mekanismit funktion toteuttajina	28
4	Biologiset systeemit ja mekanistiset selitykset	41
4.1	Mekanismit tutkimuksen kohteina	41
4.1.1	Löydöistä selityksiksi	50
4.1.2	Biologiset systeemit ja lakien ongelmallisuus	56
4.1.3	Reduktionismi ja emergenssi biologiassa	60
4.2	Biologiset systeemit, funktiot ja teleologia	67
4.2.1	Dekontekstualisoinnista	71

5	Mallien epistemologia ja suhde selityksiin	75
5.1	Teorioista malleiksi	77
5.1.1	Mallit ja motivaatio	78
5.2	Tieteelliset mallit ja niiden representationaalinen rooli	80
5.2.1	Mallit ja fikcionalismi	84
5.3	Mallit episteemisinä artefakteina	88
6	Mallit, selitykset ja systeemibiologia	90
6.1	Systeemit ja mekanismit	91
6.1.1	Systeemiajattelun filosofiaa	94
6.2	Systeemibiologian luonteesta	97
6.2.1	Ylhäältä alas -analyyttinen ja alhaalta ylös -synteettinen strategia	99
6.3	Selitykset systeemibiologiassa	102
6.3.1	Teoriat malleina	105
6.4	Mallit, data, holismi ja realismi	111
7	Loppusanat	115
	Lähteet ja kirjallisuus	117

1 Alkusanat

Biologia on historiallisesti nauttinut tietynlaista erityisroolia tieteiden keskuudessa sillä kysymys on enemmän tai vähemmän ollut ns. ”elämän tieteestä”. Tieteenfilosofia ei alun perin ollut räätälöity vastaamaan niihin biologisiin kysymyksiin, jotka olivat läsnä etenkin ns. vitalismin aikakautena. Toisin sanoen käsitykset tieteellisestä selittämisestä ja mallintamisesta kehittyivät täysin irrallaan biologiasta, kunnes huomattiin, että jos jokin tiede, niin biologia tarvitsee tieteenfilosofiaa. Tieteenfilosofiset mallit tieteellisestä selittämisestä olivat kuitenkin sopimattomia itse biologiaan ja täten tuli tehdä kompromisseja sekä tieteenfilosofian että itse biologian puolelta. Tämä teksti käsittelee tieteenfilosofiaa ja sen kehitystä 1900-luvun alulta aina siihen ja siitä eteenpäin, kun biologia monine haaroineen tuli mukaan. Tämän tekstin tarkoitus on tarjota lukijalle näkemys siitä, että biologia ja tieteenfilosofia eivät olleet alun alkaen ”pari passu” toistensa kanssa, ja se näkyy tänäkin päivänä. Teksti pyrkii antamaan näkemyksen siitä, miten biologia on erityislaatuisessa asemassa suhteessa klassisiin tieteenfilosofisiin näkemyksiin tieteen kehityskulusta filosofiassa ja tieteen kehityskulussa biologiassa. Tieteenfilosofia omaa käsitteistön käsitellä tämän vaikean tilanteen, jossa biologia kaikkine haaroineen on. Tämän tekstin tarkoitus on siis esittää, että asiantilat totisesti ovat näin. Moderni tieteenfilosofia kyllä kykenee käsittelemään nopeasti muuttuvan biologian. Toisin sanoen tarkastelen sitä, miten tieteenfilosofian perinteiset mallit soveltuvat nykyaikaisiin biologian haaroihin, etenkin systeemibiologiaan.

1.1 Työn näkökulma ja rakenne

Matka varsinaiseen päämäärääni on varsin pitkä ja täten lienee paikallaan huomauttaa, että päästäkseni käsittelemään itse asiaa, lukijalta edellytetään suuri määrä taustatietoa, joka enemmän tai vähemmän oletetaan annettuna itse pitkälle johdetun biologisten selitysten, mallintamisen ja systeemien itsensä filosofiassa. Täten olen katsonut tarpeelliseksi tehdä pitkän, mutta mahdollisimman päämääräorientoituneen katsonnan niihin asioihin, jotka lukijalta oletetaan. Vasten angloamerikkalaista perinnettä tieteen ja filosofian kirjoittamisessa, en voi kertoa heti aluksi, mitä lopussa seisoo. On kuitenkin lukijan kannalta välttämätöntä tehdä pienehkö aikamatka tieteellisen selittämisen ja mallintamisen teorioihin, joskin tohdin luvata, että matka ei ole turha.

Luku 2. käsittelee hyvin yleisellä tasolla sitä, miten tieteenfilosofia on tarkastellut ja tarkastelee tieteellistä selittämistä. Mitä pidetään selityksenä ja mitä varsinaisesti ollaan selittämässä, kun esitetään selitys? Minkälaisia ominaisuuksia tieteellisillä selityksillä on, mikä tekee selityksestä selityksen, ja mikä on selityksen suhde ymmärtämiseen? Näitä asioita tarkasteltuani siirrytään lukuun 3., jossa tarkastellaan ns. selitysmalleja ja niiden soveltamista biologiassa. On tärkeää huomioida, että selitysmallit eivät ole sama asia, kuin teoriat tieteellisestä mallintamisesta. Ne ovat malleja sille, mikä on kunkin aikakautelaisensa näkemyksen mukaisesti paras mahdollinen malli luoda tieteellinen selitys. Luku 3. esittää tämän tekstin kannalta tärkeimmät selitysmallit, jotka siis kirjaimellisesti ovat funktionaalisia malleja siitä, miten selityksen ainakin hyvässä uskossa katsotaan tai katsottiin toimivan. Luku 2. ja 3. siis tarjoavat lukijalle pohjan sille, miten tieteellisiä selityksiä käsitellään tieteenfilosofiassa ja sovelletaan biologiaan. Luku 4. alkaa lähentelemään itse asiaa. Luvussa 4. tarkastelen sitä, miten luvussa 3. esitettyjen selitysmallien kautta on jokseenkin saavutettu konsensus siitä, että mekanistiset selitykset ovat juurikin sopivia, elleivät jopa välttämättömiä, biologiaan ja muihin biotieteisiin. Mekanismit itsessään kuitenkin ovat melko ongelmallisia ja kohti tämän tekstin loppua niistä tulee vieläkin ongelmallisempia, kun mukaan tulee systeemit ja mallintaminen, jotka ovat perusrakenne systeemibiologialle. Tämän vuoksi käsittelen mekanismien ja systeemien välistä suhdetta ennen malleja, jotka tulevat luvussa 5. Luku 4. siis omistautuu tarjoamaan lukijalle hyvän käsityksen mekanismeista juuri biologiassa ja miten mekanismeja sovelletaan tieteellisissä selityksissä biologian sisällä. Luku 5. voi tuntua jokseenkin irralliselta, mutta sen positio mekanismien esittämisen jälkeen perustuu siihen, että mekanismit ovat jokseenkin edellytys ymmärtämään malleja. Luku 5. siis on yksinomaan omistautunut tarkastelemaan sitä, miten tieteellinen mallintaminen toimii ja miten malleihin tulisi suhtautua

suhteessa tieteelliseen selittämiseen. Tieteelliset mallit ja tieteellinen selitys niiden kautta ovat modernin biologian kulmakiviä. Olen kuitenkin kaventanut aihetta siten, että vain oleellinen tekstin lopun kannalta on käsitteillä. Luku 6. taas soveltaa kaikkia edellisiä lukuja tarkastellakseen mallien, selitysten ja systeemien luonnetta itse systeemibiologiassa. Luku 6. on siis ns. itse asiaa. Asiaa siitä miten tieteellinen selittäminen ja mallintaminen toimivat ja itse asiassa luovat systeemibiologiaa.

2 Tieteellinen selittäminen yleisesti

Tässä luvussa on tarkoituksena antaa yleiskäsitys siitä, mitä varsinaisesti tieteellinen selittäminen on, ja esitellä erilaisia ilmiöitä ja käsityksiä siitä, mitä tietoon, tieteeseen ja selittämiseen liittyy tieteiden tekemisen ja tieteenfilosofian kannalta. Tässä luvussa ei nojauduta mihinkään erityistieteeseen, vaikka tämä teksti käsittelee systeemibiologiaa, vaan käsittely koskee yleisesti ottaen tieteellisiä selityksiä. Ensimmäiseksi erottelen yleisiä käsityksiä siitä, mitä tarkoitetaan tai uskotaan tarkoitettavan selityksillä ja selityksen suhteessa subjektiiviseen ymmärtämiseen. Siihen mitä pidetään varsinaisena tieteellisenä tietona ja miten selitys palvelee tätä tietoa. Toiseksi käsitelen tieteiden tekemisen logiikkaa ja teorian suhdetta selitettäviin ilmiöihin. Kolmanneksi sivuan tieteellistä realismia ja antirealismia. Tieteellinen selittäminen ja eri teorialat siitä ovat tämän tekstin kannalta tärkeässä asemassa, ei pelkästään siksi että selitykset ovat erityisasemassa biologisissa selityksissä ja mallintamisessa, mutta myös siksi että systeemitieteet ylipäätään on hyvä rinnastaa myöhemmin esiteltävien mekanististen selitysten kanssa ennen varsinaista tieteellistä mallintamista ja sen omia ongelmiansa.

2.1 Selitys ja ymmärrys

Tieteen yksi päätehtävä on lisätä ymmärrystä maailmasta, vaikka joskus onkin sanottu, että tiede kykenee kuvailemaan, ennustamaan ja organisoimaan tietoa, mutta ei tarjoamaan autenttista ymmärrystä maailmasta. Tämä on jokseenkin harhaanjohtavaa, sillä suurella yleisöllä (ei-tieteilijöillä) on usein käsitys, että tieteen tulisi vastata kysymyksiin, joita Karl Popper kutsuu essentialistisiksi kysymyksiksi. Keith E. Stanovich havainnollistaa essentialistisiä kysymyksiä painovoimalla. Suuri yleisö odottaa, että astrofysiikka tai kosmologia ainakin pyrkisi vastaamaan kysymykseen: mitä on painovoima? Kysymys on essentialistinen siten, että kysymyksen asettelussa pyritään antamaan käsitteelle tai käsitykselle merkitys ennen itse käsitteen määrittelyä ja tutkimusta

– jopa löytämistä. Tiede ei voi eikä pyri vastaamaan essentialistisiin kysymyksiin, vaan operationalistisiin kysymyksiin, joissa ilmiöiden ja niitä koskevien käsitteiden katsotaan olevan erilaisia operaatioita, mitattavia ja täten datavetoisia. Vasta systemaattisen empirismin kaltaisen tutkimuksen jälkeen voidaan antaa operationaalisia kuvauksia, selityksiä, niistä johdettuja ennustuksia ja yleistettyjä, joskaan ei universaaleja ja ikuisia selityksiä. (Stanovich 2013, 37 - 40).

Tiede tavallaan ei itse tarjoa käsitteen merkitystä tai sen tulkintaa jossakin semanttisessa verkostossa ja täten tieteen kasvaminen määrällisesti tai laadullisesti ei itse tarkoita sitä, että ymmärrys maailmasta kasvaisi (Salmon 1998, 72). Yleinen konsensus kuitenkin nojaa käsitykseen, että tieteelliset selitykset lisäävät ymmärrystä maailmasta, mutta siitä ei ole konsensusta, miten ymmärtäminen tulisi varsinaisesti mieltää. Jos tiede ei vastaa essentialistisiin kysymyksiin, niin minkälainen on paras mahdollinen tieteellinen selitys ja miten se tulisi ymmärtää? Wesley Salmon (1998) katsoo, että ymmärrystä voi olla kahdenlaista. Ensinnäkin meillä on yleinen maailmankuva – käsitys siitä miten maailma toimii. Uusi tieteellinen tieto integroidaan selitysten kautta vastaamaan tätä maailmankuvaa ja jos maailmankuva on ristiriidassa uuden tiedon kanssa, niin joko uutta tietoa tai maailmankuvaa tulee muuttaa. Edellinen on jokseenkin omien uskomusten ja käsitysten ulkoisesta maailmasta välistä sovittamista assimiloimalla uutta vanhaan tai akkomodoimalla omia käsityksiä vastaamaan ulkoista maailmaa. Oli kyse kummasta hyvänsä, niin kaikki tapahtuu ymmärtäjän ja selittäjän pään sisällä. Tiede on kuitenkin julkista juuri siksi, että saadaan jonkinlainen varmistusverkko. Kun tarpeeksi moni toisistaan riippumattomat ja eri intressejä omaavat tahot hyväksyvät samat selitykset ja niiden seuraukset, voidaan katsoa, että kollektiivinen uskomus on jokseenkin yleisesti uskottava. Tätä voisi kutsua jonkinlaiseksi tieteellisen ymmärtämisen koherenssiksi. Maailmankuvaan nojautuva näkemys ymmärtämisestä on psykologinen siten, että koherenssi on ennen kaikkea subjektiivinen tai yhteisön kollektiivinen tyytyväisyys maailman ja tiedon välisestä suhteesta.

Näkemys siitä, että maailman ja tiedon välillä on korrelaatio ei takaa, että uusi tieto tai maailmankuva olisi mitenkään todellisuutta vastaava. Toinen tieteellisen ymmärryksen tapa Salmonin mukaan on mekanistinen. Maailmassa tapahtuvia ilmiöitä voidaan pitää mustina laatikkoina, joiden sisällä on jokin mekanismi, joka on vastuussa siitä ilmiöstä, jota ollaan selittämässä ja lopuksi ymmärtämässä. Vaikkakin eri terminologia, käyttää Salmon vielä tässä kontekstissa mekanismeja samoin tavoin kuin luvun alussa Stanovich käyttää operaatioita.

Yksinkertainen esimerkki mekanistisesta ymmärryksestä olisi kellokoneisto. Voimme tarkastella taskukelloa ja mieltää se kelloksi, mutta sen sisällä on jokin mekanismi, joka aktualisoi sen luonteen (tai identifioivan käytöksen) olla kello – toisin sanoen ollakseen kello, tulee mekanismin suorittaa kellon funktiota. Mekanismi siis toteuttaa aina jotakin funktiota tai operaatiota. Kello voidaan hajottaa osiin ja niitä tutkimalla selvittää mikä mekanismi on vastuussa kellon funktiosta, joskin kellon hajottaminen kadottaa ilmiön mutta ei selitystä ja ymmärtämistä. Tämä olisi siis mekanistista ymmärrystä.

Sekä maailmankuvaan että mekanismeihin perustuvasta ymmärryksestä seuraa suoraan kiista tieteellisen realismin ja antirealismen välillä. Tämä johtuu hyvin pitkälti siitä, että meillä ei ole a priorista tietoa siitä, onko maailmankuvamme koherentti vai ei. Lisäksi mekanismit perustuvat usein (ainakin suurella selityksellisellä resoluutiolla) ei-havaittaviin objekteihin kuten oletukseen kaasusta molekyyleinä jne.¹ (Salmon 1998, 75 – 77).

Salmon (Salmon 1998, 125) kehottaa pohtimaan ajatusta, että tieteellisellä selittäjällä olisi sellainen episteeminen status ja loogiset että matemaattiset kyvyt, joilla tämä kykenisi ennustamaan tulevaisuutta ja selittämään menneitä ilmiöitä millä tahansa selityksellisellä resoluutiolla (moiset kyvyt ja episteemisen statuksen omaavaa selittäjää tai ymmärtäjää kutsutaan usein Laplacen demoniksi)². Kysymys kuuluu, olisiko tieteellinen tieto tämän kaltaisella entiteetillä täydellistä, vai jäisikö jotakin vielä selitettäväksi? Intuition mukaisesti täydellisen deterministisessä maailmassa ei olisi juuri mitään selitettävää, sillä kaikki tieto on johdettavissa tietopohjasta ja kyvyistä joita Laplacen demonilla olisi. Salmon kuitenkin huomauttaa, että klassinen käsitys (klassisella käsityksellä tarkoitetaan näkemystä tieteestä, jossa fysiikka on kaikkien luonnontieteiden perusta) tieteestä odottaa siltä vain kykyä kertoa mitä ja miten. Jos halutaan saada selitys tai vastaus kysymykselle miksi ilmiö X tapahtui, niin selityksen luonne muuttuu teleologiseksi tai metafyyksiseksi. Tämä on juuri yksi piirre, minkä vuoksi jotkut tieteen filosofit ovat tulleet kantaan, että tiede ei lisäisi ymmärrystä ja jopa sellaiseen kantaan, että tiede ei selitä mitään. Tiede näin vain kuvailee – vaikkakin hyvin tarkasti ja monitasoisesti. (Salmon 1998, 125 – 127).

¹ Selityksellisellä resoluutiolla tarkoitan sitä, miten tarkasti tai millä tasolla jokin asia selitetään. Esimerkiksi monia kemiallisia ilmiöitä voidaan selittää fysiikalla, eli tarkemmalla selityksellisellä resoluutiolla, mutta tämä ei välttämättä olisi käytännöllistä.

² Laplacen Demoni on kuvitteellinen olento, jolla olisi kaikki tieto kaikesta deterministisessä maailmassa. Kyseistä käsitettä käytetään filosofiassa usein havainnollistavana ajatuskokeena puhuttaessa determinismistä.

Jos tiede kuitenkin selitysten kautta tarjoaa jotakin enemmän kuin pelkästään kuvauksia maailmasta (vastaa kysymyksen ”miten” lisäksi kysymykseen ”miksi”), niin mitä tieteelliset selitykset sitten varsinaisesti tarjoavat? Tieteellisellä selityksellä on kaksi intuitiivista piirrettä, jotka löytyvät kutakuinkin jokaisesta tieteellisen selityksen mallista. Ensimmäinen intuitiivinen piirre selityksellä on sen pyrkimys paljastamaan selityksen kohteena olevan ilmiön syy. Miksi lentokone tippui? Miksi jokin tietty henkilö kuoli? Kumpikin edellisistä selitystä pyytävästä kysymyksestä kysyy juuri syytä ilmiölle – se kysyy miksi. Yksittäistä ilmiötä on epämielekästä selittää tyydyttävästi selittämättä sen syytä. Toinen intuitiivinen piirre tieteellisillä selityksillä on niiden tapa ajautua jonkin universaalien tai tilastollisen ja todennäköisyyteen perustuvan lain alle, joka pätee kaikissa mahdollisissa maailmoissa, joissa tietyt ennakkoehdot toteutuvat. Teoreettinen tiede tuottaa jatkuvasti lakeja, jotka peittävät ilmiön kausaalisia ketjuja, prosesseja tai mekanismeja allensa teorian itsensä vaikutusalan sisällä. Tästä intuitiosta seuraa että oli selitettävä ilmiö mikä hyvänsä, niin sen ilmentyminen oli odotettavissa tai jopa välttämätön perustuen juuri lakeihin, vaikka sitä ei olisi alun perin tai mahdollisesti missään vaiheessa tiedetty (universaaleihin tai erilaisiin versioihin tilastollisesta odotettavuudesta tai välttämättömyydestä). Tieteelliset selitykset tavallaan oikeuttaisivat itsensä laeilla, jotka antavat niille vivahteen ajatuksesta, että asiat eivät olisivat voineet olla toisin. Tietynlainen implikaation nojaava jos-niin -logiikka. Tästä myös seuraa, että selityksen johtopäätös johdetaan asiantilasta eli selityksen kannalta premisseistä perustuen joko induktioon, deduktioon tai abduktioon. Kaikki selitykset jotka johdetaan jostakin tietokannoista, eli premisseistä, ovat argumentteja. Ollessaan teoriavetoinen, tiede johtaa logiikan avulla selityksensä abduktiivisesti, kun taas datavetoinena selitykset johdetaan systemaattisen empirismin kasaamasta datasta deduktiivisesti tai induktiivisesti.

Tieteelliset selitykset olisivat siis väitelauseita siitä että jokin ilmiö perustuu johonkin asiaan, joka on välttämätöntä perustuen tiettyyn lakiin, ja selitys on inferentiaalinen eli tulkinnallinen kaikesta edellisestä. Jos syiden paljastaminen ja selityksen alistaminen laeille ovat riittävät piirteet autenttiselle tieteelliselle selitykselle, niin Laplacen demonilla totisesti olisi täydellinen tieteellinen tieto maailmasta, menneistä tapahtumista ja tulevaisuudesta. (Salmon 1998, 125 – 127).

Edellisen kaltainen hahmottelu selityksistä kieli siitä, että Laplacen demonin selitykset olisivat kausaalisia selityksiä. Huomioitavan arvoista on se, että kausaalisuudelle itsellensä ei tarjota minkäänlaista analyysiä. Kausaalisuus on siis jokseenkin samanlainen ilmiö kuin painovoima

essentialistisesti ajateltuna. Kausaalisia prosesseja ja operaatioita kyllä löytyy, mutta kausaalisuutta itse on hyvin vaikea hahmotella. Ensisijaisesti tässä kontekstissa Laplacen demonin episteemisen statuksen omaava selittäjä tai entiteetti joutuu ongelmiin juurikin ei-kausaalisten lakien kanssa. Yksi esimerkki ei-kausaalista laista on ideaalit kaasulait. Kaasulait ovat rakennettu funktionaalisista rooleista kausaalisten suhteiden sijaan. Kaasulait rakentuvat paineen, tilavuuden, lämpötilan, molekyylien määrän ja universaalin kaasuvakion välisistä funktionaalisista rooleista, joista pystytään rakentamaan kaava, jolla voi laskea kaasun ominaisuuksia tietyssä tilassa. Tämä kaava, vaikka äärimmäisen tarkka ja tehokas kuvailemaan ja ennustamaan, ei kerro mitään kausaalisuudesta. Sillä ei ole alkua, loppua, taikka syytä. Laplacen demonin selitys heliumin tilasta kaasuna partikulaarisen ilmapallon sisällä ei sisältäisi käsitettä ”kaasu sinänsä”. Laplacen kausaaliosessa ja deterministisessä selityksessä olisi määräinen kuvaus atomien välisistä törmäyksistä mutta tilan, paineen, ja koko kaasun käsite häviäisi. Teoriasta johdetut hypoteesit ja niiden tekemät ennustusten menestyessään eivät tee teoriasta koskaan totta – ehkä paremman. Toisaalta taas voidaan kysyä, mitä on teorian tai sen soveltaman metodin paremmuus? Esimerkiksi kvanttimekaniikasta ei ole hyötyä auringonpimennysten ennustuksessa. (Salmon 1998, 128).

Tiede menestyy varsin hyvin tilastoihin ja todennäköisyyksiin perustuvilla selityksillä ja nämä statistiset selitykset, lait, tai teorit eivät ole statistisia pelkästään siksi, että meillä olisi puutteellinen tietomäärä maailmasta, vaan maailmassa on tilastollisia ja todennäköisyyspohjaisia aidosti indeterministisiä ilmiöitä. Moni selitys voi olla äärimmäisen tarkka, mutta silti todennäköisyys. Salmon katsoo (Salmon 1998, 130), että kausaaliset selitykset eivät joudu konfliktiin jos niihin lisätään statistisia lakeja tai ilmiöitä. Salmon tarjoaa esimerkiksi koodinimellä ”Smoky” toimitettua atomipommin testiä Yhdysvalloissa vuonna 1957. Hyvin nopeasti huomattiin että sotilashenkilökunta joka seurasi kyseistä testiä, alkoi kärsiä tietyllä tilastollisesti merkittäväällä suhteella leukemiasta joka tyypillisesti diagnosoidaan lapsille (on hyvin harvinaista, että aikuiselle ihmiselle kehittyy leukemia). Statistinen analyysi Hiroshiman ja Nagasakin pommitusten selviytyjistä kertoo myös että altistuminen korkealle määrälle ionisoivaa säteilyä totisesti lisää tilastollisesti merkittävästi riskiä leukemian kehittymiselle. Lisäksi leukemian todennäköisyys korreloi etäisyydestä räjähdysten keskustasta. Vaikka kausaalista ketjua tuolloin tuskin tunnettiin, niin tilastollisen merkityksen vuoksi se olisi rationaalista olettaa. (Salmon 1998, 129).

Ihmisen läsnäolo ydinräjähdyskäs läheisyydessä on statistisesti relevantti leukemian kehittymisen kannalta, sillä ihminen joka on kahden kilometrin päässä räjähdyskäs keskustasta saa merkittävästi suuremmalla todennäköisyydellä leukemian kuin tilastollisesti populaatiosta otettu satunnaisyksilö. Todennäköisyys saada leukemia olemalla kahden kilometrin päässä räjähdyskässtä on hyvin pieni (Salmon toteaa, että Smokeyn tapauksessa se oli pienempi kuin 1/100), mutta se on silti merkittävästi suurempi kuin satunnaisotoksella populaatiosta, joka on tässä tapauksessa ihmiskunta (Salmon 1998, 131). Tämän vuoksi tällä statistisesti relevantilla ilmiöllä on selityksellistä voimaa, vaikka itse todennäköisyys on melko pieni. Se on selityksen kannalta merkittävä tieto. Tärkeä asia on se että leukemialla on syy. Se on kausaalisen vuorovaikutuksen aiheuttama ilmiö. Atomin sähkövarauksen muuttuessa myös sen ominaisuudet sitoutua molekyyleiksi muuttuvat radikaalisti ja biologisten prosessien kannalta jopa fataalisti. Tämä on kausaalinen ketju, vaikka atomeja ja subatomisia partikkeleita koskeva mekaniikka – kvanttimekaniikka – on indeterminististä ja makroilmiökin (tilastollinen riski saada leukemia) on statistinen. Statistisuus ja indeterminismi eivät näin poissulje kausaalista selitystä.

Lyhyesti ilmaistuna voisi sanoa että Laplacen demoni vastaa kysymyksiin ”mitä” ja ”miten”, mutta se ei anna ihmiselle ymmärrystä lisäävää vastausta kysymykseen ”miksi”. Kysymys ”miksi” rajaa maailmaa ja sen ilmiöitä tavalla johon voidaan erikseen määrittää ”musta laatikko”, jonka sisällä olevat kausaaliset mekanismit tulee paljastaa relevantilla tasolla suhteessa kysymykseen, ei pelkästään kuvata ja ennustaa laatikon sisäisiä tiloja tietyssä hetkessä. Selitys tarvitsee ihmisen ymmärtämään taustalla vaikuttavan ilmiön ominaisuudet tai muussa tapauksessa selityksellä ei olisi selityksellistä roolia. Tämä on juuri se syy, miksi selityksen tulee olla inferentiaalinen eli subjektin tulkittava. Maailma tai jopa itse tiede ei kaipaa selityksiä oman olemassaolonsa ehdoksi. (Salmon 1978, 683 – 690).

2.1.1 Selitysten ominaisuuksista

Kaikki tieteellinen toiminta ja sen tuotokset ovat aina teorian vaikutuksen alaisia. Teoria määrittelee tietynlaisen maailman, jonka sisällä oletetaan asioiden tapahtuvan tietyllä tavalla. Teorian määrittelemän viitekehyksen – tietynlaisen maailmankuvan – sisällä rakennetaan hypoteeseja, niitä testataan, ja luonnollisesti samalla tehdään tieteellistä selittämistä ja mallintamista. Ennen kuin tarkastelen erilaisia käsityksiä tieteellisen selittämisen luonteesta, niin on aiheellista tarkastella tieteellistä realismia ja antirealismia. Tiede on itseään korjaavaa ja harvoin teorit ovat pysyviä. Tämän päivän parhaimmat teorit voivat olla huomenna täyttä dadaa. Tämä tekee tieteellisen realismin aseman suhteessa teorioihin (ja täten epäsuorasti selityksiin) jokseenkin ongelmalliseksi. Tieteellinen realismi siis katsoo tieteen tutkivan sitä, mitä oikeasti on ja se, mitä on, ei ole konstruktioita tai keksintöjä vaan löydöksiä. Bas van Fraassen (van Fraassen 1980, 7) katsoo, että tieteellisen realistin tulee edellisen valossa tehdä teoriansa väittämistä mahdollisimman heikkoja tai vähän ilmaisevia kuin mahdollista. Kysymystä tieteellisen teorian suhteesta todellisuuteen voidaan hälventää ottamalla episteemisempi kanta, jossa tieteellisen teorian esittämien ilmiöiden tai entiteettien (kuten elektronien) ontologinen status muutetaan kysymykseksi episteemisestä totuuden asteesta. Neptunuksen episteemisen totuuden aste on varmasti korkeampi kuin esimerkiksi kvarkkien, mutta tämä ei tarkoita, etteivätkö kvarkit olisi yhtä todellisia kuin planeetta Neptunus.

van Fraassen lisää, että antirealismia on kahdenlaista. Antirealisti voi pitää teoriaa hyväksyttävänä, kun se on oikein mutta ei kirjaimellisesti todellisuutta vastaavana konstruoitu. Toisaalta antirealisti taas voi pitää teoriaa hyväksyttävänä, kun se on kirjaimellisesti (tai täsmällisesti) rakennettu, mutta siltä ei odoteta totuutta. van Fraassenin mukaan jälkimmäinen on merkittävämpi, sillä se sulkee pois sen kaltaiset antirealismien muodot, kuten positivismin ja instrumentalismien, jotka ovat tavalla tai toisella täysin riippumattomia episteemisestä totuudesta. Lisäksi jälkimmäisen kaltaisella antirealismilla on täten mahdollisuus olla tosi tai epätosi, vaikka niiden totuusarvoa ei koskaan saataisi tietää. van Fraassen edustaa näkemystä, jota hän kutsuu konstruktiviseksi empirismiksi. Se on edellisen kaltaisen antirealismien muoto, joka pyrkii maksimaaliseen empiriseen adekvaattiuteen. van Fraassen katsoo, että tämä on turvallisin asenne, joka myös soveltuu toimivasti tieteellisiin selityksiin ja niistä rakennettuihin malleihin, sillä ovathan ne aina teorian vaikutusalan alla. Konstruktivinen empirismi on totisesti turvallinen kanta. Se tavallaan tyydyttää edellisessä alaluvussa esitetyn essentialistisen vastauksen kaipuun sikäli, kun essentialistinen vastaus katsotaan konstruktiksi jonkin ontologisen entiteetin sijaan. (van Fraassen 1980, 10 – 12).

Selityksen suhdetta konkreettiseen maailmaan voi filosofisesti tarkastella muullakin tapaa, kuin ottamalla kantaa tieteelliseen realismiin ja antirealismiin. Tieteellisellä selittäjällä ei ole mitään a priori mahdollisuutta tietää, onko tämä ottanut huomioon kaikki selityksen tai ilmiön kannalta relevantit tekijät, tai onko selittäjä ylipäättään tietoinen niistä. Tärkeä ilmiö tieteellisessä selittämisessä on tietomäärän tai selittäjän tietokannan täydellisyys tai epätäydellisyys. Vallitsee voimakas konsensus siitä, että täydellistä tietokantaa on vain ideaalisissa selityksissä, selityksissä jotka tiedetään olevan todellisuuden vastaisia. Vaikka ilmaisu on voimakas, joskus todellisuuden vastaiset selitykset tarjoavat hyvin paljon tietoa siitä, miten asiat voisivat olla tai miten ne eivät ainakaan ole. Kumpikin edellisistä rajaa hyvin paljon ja hedelmällisesti mahdollisuuksien avaruutta siitä, miten asiat todellisesti voivat olla. Toisaalta tarvitaanko edes kaikkea tietoa? Eikö selitys voisi olla elliptinen, eli tietoisesti tehty epätäydelliseksi? Tämän vuoksi tieteellisiä selityksiä luokitellaan myös sen perusteella, miten ne suhtautuvat tietopohjan puutteellisuuteen sen sijaan, että luokittelu tehtäisiin perustuen niiden suhteesta konkreettiseen maailmaan.

Eräs käsitys selityksen tietopohjan puutteellisuuden suhteesta selitysmalliin on episteeminen. Tällä tarkoitetaan sitä, että selitys johdetaan puhtaasti tiedosta ilman varsinaista suhdetta konkreettiseen maailmaan selityksen hetkellä. Salmon (Salmon 1998, 55) tarjoaa esimerkiksi auringonpimennystä. Selittäjä voi kerätä tarvittavat lait planeettojen liikkeistä ja määrittellä alkutilan perustuen edeltäviin tiloihin tiettyinä ajankohtina. Näistä alkutiloista voidaan muodostaa premissien joukko ja tietyillä yleisillä laeilla voidaan (esimerkiksi) dedusoida, että auringonpimennys toisesta oli odotettavissa riippumatta siitä, tiesikö selittäjä sitä aikaisemmin vai ei. Jos selittäjällä olisi ollut ilmiön jälkeen selitykselle vaadittavat vähimmäistiedot ennen kyseistä ilmiötä, niin olisi selittäjä voinut aivan yhtä hyvin ennustaa auringonpimennyksen. Käsitys selityksen luonteesta on episteeminen myös siten, että se ei edes yritä sisältää kaikkea selitykseen vaikuttavia kausaalisia tai statistisia ilmiöitä ja lakeja vaan ainoastaan sen, mitä edellytetään siltä että deduktio (esimerkiksi) on validi. Koska päättely noudattaa loogista kaavaa, niin selitys on täten argumentti. Selitys on luonteeltaan niin yleinen että se pitäisi paikkaa riippumatta siitä, onko edes olemassa kuita jotka voivat tulla tarkastelijan ja paikallisen tähden väliin aiheuttaen pimennyksen tarkastelijan sijainnin alueelle. Tämä siksi että jos on mahdollista kuvitella mahdollinen maailma jossa näin olisi, niin perustuen juuri yleisiin lakeihin ja alkutiloihin kyseinen ilmiö olisi odotettavissa ja ennustettavissa, oli kyseisen mahdollisen maailman ontologinen status sitten mitä hyvänsä. Selitys kerää selityksellisen

voimansa tietoteoreettisiin kantoihin nojaten, ei ontologisiin havaintoihin ja mittauksiin selitysaktin aikana. Episteemisesti käsitetyt selitykset ovat siis valideja riippumatta siitä miten maailma makaa. Jos premissit sen sijaan ovat peräisin empiirisesti adekvaatista datasta, niin ne pätevät varsin hyvin konkreettisesti maailmassa jossa on kuita ja paikallisia tähtiä. Tämä on episteemisen kannan puolelta vain positiivinen fakta, mutta se ei varsinaisesti muuta episteemisen argumentin validiutta, ellei sitä välttämättä haluta pakottaa konkreettiseen todellisuuteen. Argumentti on validi tai epävalidi perustuen sen logiikkaan ja selityksen kannalta relevantit tekijät (premissit ja lait) ovat niitä jotka vaikuttavat selityksen deduktioon (tai esimerkiksi induktioon). Tietopohja voi olla puutteellinen sillä selittäjän ei tarvitse ennustuksen kannalta edes tietää, mikä tähti on. Monia asioita on selitetty lainkaan tietämättä niiden perää. Esimerkiksi on melko epätodennäköistä, että Maya-intiaanit tiesivät astrofysiikasta mitään.

Toinen käsitys tieteellisen selityksen luonteesta on modaalinen. Edellisen kappaleen esimerkkiä seuraten on mahdollista sanoa, että premissinä toimivien alkutilojen eli maailman partikulaaristen faktojen ja selityksen johtopäätöksen välinen suhde on nomologinen, eli lakiin perustuva, välttämättömyys.³ Ottaen huomioon että alkutilat olivat tietynlaiset ja yleiset lait yksinkertaisesti määrittelevät miten maailma (ainakin selityksessä) toimii, niin näiden lakien valossa ei ollut muuta vaihtoehtoa kuin se, että selitettävä ilmiö tapahtui. Ilmiö ei ollut odotettavissa sinänsä vaan sen ilmeneminen oli välttämätöntä. Selityksen kannalta relevantit tekijät ovat niitä jotka vaikuttavat ilmiöön, joka on altis tietyille laeille ja täten välttämätön riippumatta siitä, tiedetäänkö kaikki ilmiössä vaikuttavat tekijät. Vain ilmiön kannalta välttämättömät tekijät ovat merkittäviä modaalisen selityksen kannalta. Vähemmän merkitykselliset, mutta läsnä olevat tekijät modaalisisissa selityksissä ovat mahdollisuudet. Voidaan sanoa, että jokin ”versio” selityksestä on mahdollinen, mutta ei välttämätön. Mahdollisuudet tavallaan tarjoavat sen mahdollisuuksien avaruuden, jossa sijaitsee se välttämätön asiantila, ja selitys rakentuu siten, että tämä pyrkii rajaamaan tätä mahdollisuuksien avaruutta pienemmillä välttämättömyyksillä. Modaalisen selityksen ei tarvitse olla argumentti, mutta se voi silti pitää kannan, että ilmiö oli johdettavissa loogisesti perustuen lakeihin. (Salmon 1998, 55).

³ Nimitys ”modaalinen” tulee juuri mahdollisuuksien ja välttämättömyyksien logiikasta, jossa tässä kontekstissa käytetään juuri välttämättömyyttä, sillä se palvelee tieteellistä selittämistä hedelmällisemmin kuin mahdollisuus.

Kolmas käsite tieteellisen selityksen luonteesta on ontologinen. Lain käsitettä käytetään kuvaamaan luonnossa esiintyvää säännönmukaisuutta ja täten voidaan sanoa, että lain vaikutuspiirin alle sijoittuva selitys on tapa kuvata sitä, miten luonto konkreettisesti toimii. Selityksen lähde ei ole tietopohja tai lakeihin nojaava välttämättömyys vaan konkreettinen maailma itse. Episteeminen ja modaalinen käsitys tieteellisen selittämisen luonteesta nojaa siis selityksen omaan rakenteeseen, toinen tietopohjaan ja toinen modaaliseen kantaan, muodostaessaan tuen selityksen validiteetille. Ontologinen käsitys sen sijaan toimii siten, että selityksen validiteetti perustuu luonnossa tapahtuviin säännönmukaisuuksiin, ja on helppo mieltää nämä säännönmukaisuudet kausaaliksi laeiksi. Salmon (Salmon 1998, 59) toteaa, että ontologinen käsitys ei edellytä senkaltaista determinismää, miten Laplacen demoni katsoisi asioiden olevan. Kvanttimekaniikka esimerkiksi tulkitsee maailman pohjimmiltaan indeterministiseksi ja monet selitettävät ilmiöt nojaavat todennäköisyyksiin ja täten selityksen kenttä on hyvin pitkälti, ellei jopa useimmiten, stokastinen. Kausaalisuudella selittävänä tekijänä on kuitenkin jokseenkin huono filosofinen lähtökohta. Tunnetuin kausaalisuuden kritiikki on usein katsottu olevan peräisin David Humelta joka argumentoi, että luonnossa esiintyvät säännönmukaisuudet ovat ihmisen tekemiä käsityksiä spatiotemporaalisesta jatkumosta joka ilmenee meille. Hume ei siis löytänyt tai edellyttänyt mitään kausaalista ”voimaa”, joka suoranaisesti pakottaisi seurauksen syystä. Joskin tieteen kannalta voitaisiin sanoa, että Hume etsi essentialistista kausaliteettia. Samoin miten painovoimasta haluttaisi essentialistinen vastaus perustuen siihen, että jos sitä voidaan mitata, niin sen tulee olla. Wesley Salmon (1998) argumentoi kuitenkin että kausaalisella prosessilla on erityinen kyky, joka tekee siitä autenttisen ilmiön säännönmukaisuuksia seuraavan tarkastelijan tottumuksen yleistyksen tai kognitiivisen rajoituksen sijaan. Kausaalinen prosessi voi välittää informaatiota (Salmon 1998, 60). Salmon katsoo, että kausaalisen prosessin kyky välittää informaatiota on ominaisuus, joka tekee kausaalisuudesta adekvaatin elementin tieteellisessä selittämisessä. Salmon valottaa informaation välittämiskykyä tekemällä eron kausaalisten prosessien ja pseudoprosessien välillä.

Esimerkki pseudoprosessista on niinkin arkipäiväinen asia kuin varjot. James Woodward (Woodward 2003, 350) esittää liikkuvan fyysikaalisen kappaleen varjon pseudoprosessiksi. Jos varjo olisi autenttinen kausaalinen prosessi, niin sen tulisi kyetä välittämään informaatiota. Voi kuvitella, että liikkuvan objektin varjolla pyritään välittämään informaatiota muuttamalla varjon muotoa. Tämän muodon manipuloimisen voisi suorittaa lisäämällä valolähteen eteen toisen objektin, jonka varjo integroituisi ensimmäisen liikkuvan objektin varjon kanssa, ilmeten täten uutena yhtenäisenä varjona. Koska ensimmäisen kappaleen varjo liikkuu, sillä kappale itse liikkuu, niin täytyy myös

tämän uuden varjon luovan kappaleen liikkua. Prosessia pitää siis ylläpitää ja varjo on vain seuraus, eikä varjo itse voi vaikuttaa kausaaliseen prosessiin, vaikka se voitaisiin virheellisesti tulkita autenttiseksi kausaaliseksi prosessiksi. Esimerkki tästä olisi aasin varjo, jonka häntään kiinnitetään ilmapallo. Tässä skenaariossa kummankin varjo on tavallaan sama objekti. Tilanne, jossa ilmapallo ei ole kiinni aasissa, mutta sattuu esimerkiksi tuulen vuoksi liikkumaan aasin mukana tavalla, mikä antaisi illuusion siitä, että kyseessä olisi ensimmäisen kaltainen skenaario, niin tämän tilanteen tulkinta olisi virheellinen. Varjo on integroitunut, mutta sillä on kaksi eri – toisistaan riippumatonta lähettä. Idea pseudoprosessien ja autenttisen prosessin välillä on se että varjo ei itse tässä esimerkissä kannata informaatiota sen muodossa, sillä varjon, joka siis on pseudoprosessi, muoto riippuu objektista. Objekti kantaa informaatiota kyllä ja voi kausaalisen prosessina aktualisoida sen varjona, mutta varjo itsessään ei tähän kykene. Varjo itsessään ei kannata informaatiota sen muodosta tai sen muodon muutoksesta esimerkin tapauksessa toisen objektin lisäämisen seurauksena. Uudella varjolla on kaksi toisistaan riippumatonta syytä, mutta varjo itsessään ei tätä kerro. Varjon ilmeneminen vaikkapa maahan on prosessi kyllä, mutta ei kausaalinen prosessi sinänsä.

Kausaaliset selitykset kertovat hyvin paljon maailmasta, mutta enempi ei ole aina parempi. Selitykset voidaan jakaa niiden vaikutuskentän perusteella ultimaattisiin ja proksimaalisiin selityksiin. Kausaaliset selitykset ainakin pyrkivät olemaan proksimaalisia selityksiä joilla ilmiön ja täten selityksen kannalta relevantti kausaalinen ketju pyritään katkaisemaan mahdollisimman nopeasti. Näin selitettävä ilmiö olisi mahdollisimman spesifi – ongelmaspesifi. Tieteen ja selitysten intressejä ei palvele selittää lehtien punertava värimuutos syksyllä 2013 aina alkuräjähdykseen asti, vaikka Laplacen demoni tähän kykenisi. Ultimaattiset selitykset taas pyrkivät vastaamaan kysymykseen, minkä takia jokin ilmiö ylipäättään ilmenee tässä maailmassa; kun proksimaaliset selitykset keskittyvät vastaamaan kysymykseen miksi tämä ilmiö ilmeni tässä ja nyt. Biologia pyrkii lähes aina ultimaattisiin selityksiin joita voisi pitää melkein teleologisina, mutta teleologialla on huono maine tieteissä ja se ei kerro juuri taustalla vaikuttavista mekanismeista, niin tyypillisesti teleologisten selitysten sijaan käytetään funktionaalisia selityksistä.

Hyvä esimerkki funktionaalisesta selityksestä on vastaus kysymykseen, miksi aavikkoketulla on niin suuret korvat? Funktionaalinen selitys aavikkoketun (kokoonsa nähden) suurille korville on niiden ominaisuus viilentää tämän veren lämpötilaa ja siten ruumiinlämpöä. Korvissa on hyvin paljon verisuonia ottaen huomioon, että korvalehdissä ei ole lihaksia tai muita happea kuluttavia

kudoksia, tai funktioita jotka vaatisivat paljon verisuonia. Korvalehdet ovat myös hyvin ohuet joten lämmin veri päätyessään niihin säteilee lämpöenergiaa pois ja viileämpi veri palaa aavikkoketun kehoon alentaen näin ruumiinlämpöä hyvin kuumassa elinympäristössä. Ottaen huomioon eläimen elinympäristön, fysiologiset ominaisuudet ja muutamat lait termodynamiikasta koskien lämmön siirtymistä niin voidaan dedusoida tai suurella induktiivisella todennäköisyydellä päätellä, että aavikkoketun korvat ovat niin suuret perustuen niiden funktioon. Selitys on luonteeltaan jokseenkin samanlainen kuin aikaisemmin esiintynyt esimerkki ideaalisista kaasulaeista – ne selittävät vain funktioita joiden tulokset ovat melko helposti tulkittavissa essentialistisiksi. On huomioitavan arvoista, että tämä on ultimaattinen selitys. Mekanismi joka toteuttaa tätä ultimaattista selitystä taas on proksimaalinen kausaalinen kuvaus eri prosesseista, jotka toteuttavat funktiota. Biologisissa ilmiöissä on vielä yksi ominaisuus jota proksimaalisissa selityksissä ei huomioida. Partikulaarisen aavikkoketun veren lämpötilan laskemisfunktio toki päättyy tämän sydämen pettäessä, mutta varsinaisessa selityksessä funktio on dynaaminen ja jokseenkin jatkuva – se ei varsinaisesti ala tai lopu mistään. (Salmon 1998, 63).

Selitykset eivät edellytä lakeja, mutta ne tekevät selittämisestä niin paljon voimakkaampia, että tieteessä selitykset pyritään mielellään toteuttamaan maailman partikulaarisia faktoja manipuloimalla lakien avulla ja johtaa näistä selityksiä. Laeilla on kuitenkin hyvin erilaisia filosofisia seurauksia riippuen siitä, onko katsontakanta deterministinen vai indeterministinen. On tärkeää pitää mielessä, että indeterminismi ei kiellä sitä, ettei maailmassa olisi deterministisiä ilmiöitä. Indeterminismi katsoo, että osa ilmiöistä ei ole determinoituneita. Lait kuvaavat luonnossa esiintyviä säännönmukaisuuksia ja ovat siten universaaleja (tai statistisia), että muuttujien arvot eivät vaikuta suoraan lain funktioon eli luonnon säännönmukaisuuteen. Täten esimerkiksi episteemisen käsitys tieteellisestä selittämisestä allekirjoittaisi validiksi sen, että maapallon pakonopeus on 11.2 kilometriä sekunnissa riippumatta siitä, onko maapalloa olemassa vai ei, sillä jos se olisi juuri sellainen mitä maapallo on, niin näistä partikulaarisista faktoista ja luonnon yleisistä laeista johtamalla saataisiin vastaava tulos. Modaalisessa selittämisessä maapallolla ei ole mitään muuta vaihtoehtoa, kuin saada pakonopeudeksi 11.2 kilometriä sekunnissa, ja ontologisessa selittämisessä on luonnon ominaisuus, että maapallon pakonopeus on 11.2 kilometriä sekunnissa ja jos maapalloa ei olisi, niin moista selitystäkään ei olisi. Kaikki edelliset esimerkit lakien toimivuudesta selityksissä nojaavat determinismiin riippumatta siitä, mikä niiden käsitteellinen kanta tieteellisen selittämisen luonteesta on.

Salmon (Salmon 1998, 39) toteaa että jos maailmassa on indeterministisiä ilmiöitä, kuten kvanttimekaniikka olettaa, niin tästä ei seuraa että maailmassa olisi ilmiöitä joita ei voi selittää tieteellisesti ja deterministisesti. Indeterministisiä ilmiöitä voidaan selittää statistisesti eli tilastoilla ja todennäköisyyksillä. Salmon painottaa että statistinen selitys kuitenkin täytyy uudelleen rakentaa siten, että se ei olisi argumentti. Jos selitys on argumentti niin se periaatteessa väittää, että ilmiö oli odotettavissa perustuen partikulaarisiin faktoihin (kuten maapallon massaan) ja yleisiin lakeihin (gravitaatiolait) ja tästä seuraa siis ilmiö (kuten pakonopeus). Statistisissa selityksissä argumenttiluonne on ongelmallinen koska jos ilmiö olisi odotettavissa, niin statistinen selitys argumenttina ei kykenisi selittämään pieniä todennäköisyyksiä, kuten leukemian kehittymisen todennäköisyyttä (joka oli Smokeyn, Hiroshiman ja Nagasakin tapauksessa erittäin pieni, mutta selityksellisesti hyvin merkittävä). Salmon (Salmon 1998, 42) katsoo että statistinen vaihtoehto, joka välttää pienten todennäköisyyksien ongelman, on selityksen rakentaminen perustuen statistiseen relevanssiin suurten todennäköisyyden sijaan.

Salmon siis katsoo, että indeterminismia sisältävissä selityksissä täytyy rakentaa tietopohja relevanteista tekijöistä suhteessa ilmiöön jota ollaan selittämässä. Referenssiluokat joihin ilmiö asetetaan, saadaan soveltamalla statistisia lakeja suhteessa tietopohjaan relevanteista tekijöistä. Näin selitys pystyy käsittelemään minkälaisia todennäköisyyksiä tahansa. Selitys ei myöskään ole argumentti sillä se ei väitä, että ilmiö jota ollaan selittämässä, olisi ollut odotettavissa. Jos Smokeyn todistajilla oli 1/100 mahdollisuus kehittää leukemia, niin se ei varsinaisesti ollut odotettavissa kenenkään kohdalla (otoksen eli todistajien joukon sisällä). Selitys on pikemminkin esitys niistä asioista, jotka ovat relevantteja ilmiön ilmenemisen kannalta ja lausunto ilmiön ilmenemisen todennäköisyydestä suhteessa näihin relevantteihin asioihin (Salmon 1998, 42). Indeterminismiin nojautuminen selityksissä ei välttämättä edes kiellä sitä ettei maailma voisi olla pohjimmiltaan deterministinen, mutta tietopohja selityksen hetkellä voi olla luonteeltaan sellainen että indeterminismi tulee ottaa huomioon.

Tieteellinen selitys ei ole ikuinen totuus maailmasta eikä varsinaisesti edes kuvaus. Selitys on aina jonkin subjektin ymmärrettävä tulkinnallisesti ja selitys on täten aina inferentiaalinen. Tulkinnat muuttuvat tulkitsijan mieltymysten selitystapojen, tietojen, taitojen, näiden välisten suhteiden ja

maailmankuvan mukaisesti. Lisäksi eri tieteissä on eri pelisäännöt, metodit ja mahdollisuudet, joten selityksen ja sen tulkinnan välinen suhde tulisi aina olla tapauskohtainen. Näin ei kuitenkaan aina ole ollut. 1940-luvulta eteenpäin usean vuosikymmenen ajan pyrittiin tekemään selitysmalleja, joista joku olisi niin tehokas, että se välttäisi inferentiaalisuuden ja täten subjektin roolin tieteellisen tiedon tapauksessa. Yksi selitysmalli on kuitenkin ottanut paikkansa biologiassa ja on täten tämän koko tekstin kannalta keskeisessä roolissa. Ensimmäisiä systemaattisia pyrkimyksiä luoda malli tieteelliselle selitykselle nojasi jonkinlaiseen positivistiseen uskoon siitä, että erityistieteestä riippumatta tarvitaan vain yksi malli sille, minkälainen tieteellinen selitys on. Tämä kuitenkin melko nopeasti osoittautui enemmän tai vähemmän mahdottomaksi. Kuitenkin selitysten ei aina tarvitse olla täydellisiä, sillä ne eivät aina palvele ymmärtämisen intressejä, niin eri tieteille on kehittynyt erilaisia malleja. Odotukset ja arvot koskien tieteellisten selitysten mallintamista ovat kuitenkin pysyneet jokseenkin samana. Yksikään tieteellisen selityksen mallintaja tuskin kieltäisi sitä, että tämä yritti tai yrittää tehdä parhainta, tehokkainta tai kaiken kattavinta mallia. On syytä painottaa, että tieteellisen selityksen malli ei ole tieteellinen malli. Se on filosofinen ja deskriptiivinen malli siitä, miten selitys toimii mahdollisimman suurimmilta osin riippumatta siitä, mikä sen sisältö, eli tieteelliset faktat, ovat. Varsinaisia malleja ja niiden epistemologiaa tarkastellaan tuonnempana, jolloin rajat tieteellisen selityksen ja tieteellisen mallin välillä hälvenevät.

Lukijan kannalta on tärkeää ymmärtää, että tieteellinen selitys ei ole fakta taikka todiste, ja ihmisluonnon kannalta ei ole yllättävää, että nämä palvelevat aina jonkin tahon intressejä. Asia ei ole näin jyrkkä nykyään, mutta kukapa ei haluaisi tehdä parhainta mahdollista ja yleispätevintä tieteellistä selitysmallia, joka takaisi ymmärryksen jokaiselle. Idea kuitenkin ajoista ja oloista riippumatta oli luoda malli, joka olisi validi riippumatta siitä, mitä ollaan selittämässä. Ymmärrys seuraisi siis aina selityksestä. Oli yritys luoda moinen kanta joutui poikkeuksesta ankaran vastahyökkäyksen kohteeksi. Ihminen, kenellä on metodi varmaan tietoon, on lähes Jumalan roolissa. Olivat roolijaot mitä hyvänsä, niin selitystä pidettiin ja pidetään edelleenkin (mallien ohella) lähteenä valideimpaan tietoon.

3 Selitysmallit ja selityksen kohteiden vaikutus

Edellisessä luvussa tarkasteltiin sitä, mitä varsinaisesti selityksellinen tieto ja toiminta – tiedon tuottaminen tai esittäminen – on, ja miten se ilmenee subjektille ja yhteisölle lähinnä selityksen aktin kautta. Tieteen tekeminen ja tieteellisen tiedon tuottaminen on hyvin erilainen ilmiö kuin klassinen näkemys tiedon luonteesta, jossa tieto mielletään hyvin perustelluksi todeksi uskomukseksi. Selitys ei automaattisesti tarkoita ymmärrystä, eikä ymmärrys tarkoita selittämistä, sillä ymmärryksen on uskomus, siinä missä selitys voi olla täysin ymmärrettävä vaikkakin epätos. Mitä tapahtuu, kun selitys itsessään otetaan tutkimuksen kohteeksi? Ei siis kysytä, mitä selitetään, miten se ymmärretään ja mitä siitä seuraa, vaan kysytään, mikä on selitys? Mitä ominaisuuksia sillä on, miten se toimii, mitä selityksistä seuraa jne. Filosofit ovat etenkin loogisen empirismin ajalta systemaattisesti tutkineet selityksiä itsenäisinä entiteetteinä riippumatta siitä, mitä ollaan selittämässä. Ajatus perustui siihen, että selitys olisi rakenteellisesti sama, riippumatta siitä, mitä ollaan selittämässä. Lukijan on tärkeä pitää mielessä, että tässä ei puhuta tieteellisistä malleista vaan selitysmalleista – malleista koskien tieteellistä selittämistä. Tässä luvussa tarkastelen siis ns. selitysmalleja – malleja siitä mitä selitys on. Lähdän etenemään ns. peittävän lain malleista jotka ovat tärkeä elementti selityksen filosofisen statuksen ymmärtämisessä, historiallisesti vaikutusvaltaisimmat, pitkäikäisimmät ja lukijalle tietynlainen ankkuri, johon voi aina palata, kun muut modernimmat mallit alkavat menemään mahdollisesti hämäräksi. Täten katson, että lukija voi pitää peittävän lain malleja tietynlaisena turvasatamana, johon palata ja verrata monimutkaisempia malleja selityksestä. Tässä luvussa käytetään myös käsitteitä ”mekanismi” ja ”systeemi” jokseenkin rinnakkain. Erottelu tehdään myöhemmin, mutta tässä välissä lukijan kannalta riittänee intuitio, että mekanismi on jotakin toteuttavaa ja systeemi on jokin rakenne potentiaalisesti valjastettavissa toteuttavaksi.

3.1 Nomologian ihanne

Peittävän lain mallit olivat ensimmäisiä ja ainakin kestävyytensä kannalta tarkasteltuna vahvimpia systemaattisesti luotuja selitysmalleja 1900-luvun puolin ja toisin. Peittävän lain mallien idea oli olla malli, jota kaikki tieteelliset selitykset noudattaisivat riippumatta siitä, mikä erityistiede on kyseessä. Toisin sanoen koski selitys sitten fysiikkaa, kemiaa, biologiaa, tai esimerkiksi taksonomiaa, niin sama peittävän lain malli koskisi jokaista tieteen alaa universaalisti, sillä tieteellisen selityksen katsottiin olevan ”puhtaimmillaan” ja ainakin sisärakenteeltaan peittävän lain

mallien mukainen.⁴ Uskomus oli, että on vain yksi tiede ja tieteellinen selitystapa (tyypillisesti tämä oli fysiikka, jota pidettiin vankimpana tieteenä). Peittävän lain mallit eivät pyrkisi näyttämään miten tulisi selittää tieteellisesti vaan ne näyttäisivät, minkälaisia tieteelliset selitykset ovat nojaten uskomukseen (tai toiveeseen) fundamentaalisesta tieteestä. On hyvä pitää mielessä, että menestyksekkäs tieteen tekeminen ei ole koskaan edellyttänyt teoriaa tieteen tekemisestä ja näin ei myöskään tieteellisestä selittämisestä. Tiede pärjää, ja on pärjännyt, ilman teorioita tieteellisestä selittämisestä.

Peittävän lain mallit toimivat niin, että selitys on deduktiivinen tai induktiivinen argumentti, jossa selitettävä ilmiö on johdettavissa premisseistä (empiirisistä tai tilastollisista faktoista) perustuen joko universaaliin tai statistiseen lakiin (tai lakeihin), jotka nimensä mukaisesti ”peittävät” selitykselliset askeleet lain vaikutuspiirin alle. Partikulaariset faktat ovat ikään kuin lain peittämiä ja näin toimivat lain määrittelemällä tavalla. Laki toteuttaa selitettävän ilmiön alkutilan kanssa. Tämän kaltaisilla selityksillä on vahva intuitiivinen tuki ja peittävän lain mallin mukainen selitys on jokseenkin deterministinen siten, että ilmiö, jota ollaan selittämässä, olisi ollut odotettavissa, sikäli kun asiantilat olisivat tai konkreettisesti ovat sellaisia, että selitys voidaan johtaa premisseistä nojaten lakeihin, jotka peittävät päättelyä. Toisin sanoen tieteelliset selitykset ovat loogisesti johdettavissa premisseistä ja laista (universaalista), jotka taas ovat systemaattisen empirismin tuotoksia.

Salmon (Salmon 1998, 69) katsoo, että nämä selitykset perustuvat teoreettiseen reduktioon, koska selitys redusoidaan koskemaan ehdollistettuja ilmiöitä, jotka lakien vaikutuksen alaisena pakottavat ilmiön tapahtumaan. Selitettävä ilmiö on täten aina odotettavissa tiesi selittäjä tai yleisö sitä tai ei. Näin on myös syytä huomata, että elettiin jokseenkin positivistisessa maailmankuvassa, jolloin uskottiin päivän tulevan, jolloin tiede selittäisi ainakin periaatteessa kaiken. Tämä lakien voimaan nojaava näkemys tunnetaan nomologiana. Nomologinen tarkoittaa lakiin tai lakeihin perustuvaa.

⁴ Sisärakenteella tarkoitan sitä, että monet selitysmallit tai erityistieteet voidaan analyyttisesti redusoida koskemaan fundamentalisempia tieteitä – kuten fysiikkaa.

Ensimmäinen ja kiistatta tunnetuin peittävän lain malli on deduktiivis-nomologinen malli, jonka Carl Gustav Hempel hioi lopulliseen muotoonsa 1950-luvun lopulla.⁵ Hempelin (Hempel 1962) mukaan yksinkertaisimmillaan selitys ilmiölle – asialle joka tulisi selittää – on argumentti, joka todistaa, että ilmiö olisi tapahtunut tai tapahtui odotetusti perustuen selityksellisille faktoille (on hyvä pitää mielessä erottelu selittävien tekijöiden ja selitettävien tekijöiden eli ilmiöiden välillä). Näitä selityksellisiä faktoja on kahdenlaisia: partikulaarisia faktoja ja yleisiä säännönmukaisuuksia, joita voi kutsua yleisiksi laeiksi. Partikulaariset faktat ovat niitä empiirisiä tosiasioita, jotka vallitsevat yksittäisessä tilanteessa, jota ollaan selittämässä. Tämän kaltainen tilanne voisi olla vaikkapa kysymys siitä, onko Sokrates kuolevainen? Partikulaarisia faktoja olisi Sokrates, Sokrateen ihmisyyys (Sokrates voisi olla eri selitystilanteessa vaikkapa koira ja täten Sokrateen ihmisyyys ei ole yleinen laki vaan kyseistä tilannetta koskeva partikulaarinen fakta) ja se yleinen laki, että kaikki ihmiset ovat kuolevaisia. Tästä voidaan dedusoida, että Sokrates on kuolevainen.

Yleiset lait ovat siis säännönmukaisuuksia, jotka ovat universaaleja ja tämä juuri takaa sen, että selitettävä ilmiö on odotettavissa riippumatta siitä, onko se tapahtunut vai ei. Selitys on näin universaali ja koskee kaikkia mahdollisia maailmoja tietyllä ehdonalaisuudella – jos-niin-logiikalla. Jos on olemassa Sokrates -niminen ihminen ja tässä kyseisessä mahdollisessa maailmassa ihmiset ovat kuolevaisia, niin Sokrates olisi kuolevainen riippumatta siitä, onko tällaista aktuaalista maailmaa olemassa. Näin ollen Hempelin mukaan selitys on deduktiivisesti johdettu päätös, joka on argumentin lausunto koskien kulloisenkin ilmiön ilmenemistä. (Hempel 1962, 46 – 47).

Lait itsessään ovat herättäneet kysymyksiä, sillä ne voivat myös olla selityksen kohteita; miksi esimerkiksi kaasulait toimivat tai mistä ne tulevat? Hempel katsoo, että lakien selitys ei poikkea ilmiön selityksistä, vaan lait selitetään yleisemmillä tai vahvemmillä laeilla – mahdollisesti kokonaisilla teorioilla (Hempel 1962, 48). Hempelin vastaus lakien itsensä selitettävyyteen on kuuluisa mitäänsanomattomuudestaan, mutta parempaakaan vaihtoehtoa ei ole juuri tarjottu (vaihtoehtoisia lähtökohtia kylläkin joissa ei ole varsinaisia lakeja ainakaan siinä mielessä, mitä Hempel katsoo lakien olevan), ja peittävän lain mallitkaan eivät eläneet ikuisesti. Jos lakien ongelma unohdetaan ja keskitytään deduktioon, deduktiivis-nomologinen selitys on äärimmäisen voimakas. Deduktiivis-nomologisella selityksellä on muutama ehto joiden tulee täyttyä, jotta

⁵ Ei yksin, mutta hän ns. jatkoi työtä näiden parissa.

selitys voisi ylipäättään olla validi. Nämä ehdot ovat muuten loogisia, paitsi että neljäs ehto on empiirinen. Kyseiset ehdot ovat seuraavan laiset:

- Selityksen tulee olla validi deduktiivinen argumentti.
- Selityksen tulee sisältää vähintään yksi yleinen laki.
- Selittävillä tekijöillä tulee olla empiirisesti validi sisältö
- Lauseet, jotka rakentavat selittävät tekijät (partikulaariset faktat), tulee olla tosia.

Lisäksi deduktiivis-nomologisen selityksen peittävälle laille Hempel esittää neljä ehtoa:

- Lailla täytyy olla universaali muoto, eli niiden täytyy päteä kaikille tekijöille, joita laki koskee.
- Lain vaikutusalan tulee olla ääretön, eli ne vaikuttavat universumissa.
- Lait eivät saa viitata partikulaarisiin objekteihin. (kyseinen laki ei siis käsittele esimerkiksi ”juuri tätä” kyseistä instanssia).
- Ne sisältävät vain kvalitatiivisia predikaatteja.

Lakien ehdot ovat jo nopealla vilkaisulla niin jyrkät, että moni tunnettu laki ei mahdu niiden joukkoon, ei edes ihmisten kuolevaisuus (kuuluisa syllogistinen esimerkki Sokrateen kuolevaisuudesta), joka rikkoo kolmatta ehtoa. Hempel kuitenkin painottaa, että nämä ehdot koskevat vain fundamentaalisia lakeja ja deduktiivis-nomologisessa selityksessä voi olla minkälaisia lakeja tahansa, kunhan ne vain ovat edes periaatteessa palautettavissa fundamentaalsiin lakeihin, jotka täyttävät nämä ehdot. Hempel esitti nämä ehdot sen takia, että voidaan erottaa todelliset yleiset lait vahingossa tehdyistä yleistyksistä, jotka voitaisiin virheellisesti tulkita laeiksi. Jos esitetään universaali laki, että kaikki Tampereen yliopiston filosofit ovat feministejä, niin ollessaan totta, tämä olisi tosi yleistys mutta puhdas vahinko – ei laki sinänsä. Ei ole mitään luonnonlakia, että näin on ja tulisi aina olemaan. Sen sijaan on hyvä syy uskoa, että jos jokin on puhdasta rautaa, niin se on ferromagneettinen. Tämä olisi taas aito laki. (Salmon 1990, 15).

Suurin osa tieteistä – ellei jopa kaikki – perustuvat osittain tilastoihin ja todennäköisyyksiin. Hempel oli varsin tietoinen tästä, mutta vei yllättävän kauan ennen kuin kukaan edes yritti esittää systemaattista mallia statistisista selityksistä (Salmon 1990, 50). Hempel kuitenkin loi ensimmäiset statistiset selitysmallit, joista vakiintui tunnetuimmaksi ja ilmaisuvoimakkaimmaksi induktiivis-statistinen malli. Induktiivis-statistinen malli on deduktiivis-nomologisen mallin tavoin nomologinen ja täten myös peittävän lain malli. Induktiivis-statistinen malli on perusajatukseltaan analoginen deduktiivis-nomologisen mallin kanssa, mutta partikulaaristen faktojen lisäksi sillä on statistisia lakeja universaalien lakien sijaan. Koska statistiset lait sisältävät todennäköisyyksiä, niin niillä ei voi dedusoida, sillä ne eivät ole totuuden säilyttäviä sinänsä. Näin ollen päättelytapa on induktio deduktion sijaan. Selitys ei täten myöskään ole looginen seuraus sinänsä, vaan tilastollinen todennäköisyys. (Hempel 1962, 49 – 50; Salmon 1990, 54).

Hempel ei kuitenkaan käytä tilastollista todennäköisyyttä perusteluna selityksen päätökselle, vaan katsoo sen nauttivan induktiivista tukea, joka on rationaalisesti uskottava ja näin Hempel kutsuu johtopäätöstä induktiiviseksi todennäköisyydeksi. Tilastolliset todennäköisyydet ovat jokseenkin epävarmoja faktoja, kun taas induktiivinen todennäköisyys on tulkinta (Hempel 1962, 50). Statistinen selitys Hempelin mallissa on näin induktiivinen argumentti, miten partikulaariset faktat tiettyihin olosuhteisiin nähden ja todennäköisten säännönmukaisuuksien vallitessa aiheuttavat odotetusti selitettävän ilmiön sen sijaan, että tieteellinen selitys induktiivis-statistisesti olisi jonkinlainen todennäköisyysjakauma. Hempel totisesti teki kaikkensa pitääkseen selitykset inferentiaalisina, eli tulkinnallisina argumentteina. Hempelin argumenteissa, eli selityksissä, ilmiö on aina odotettavissa perustuen päättelyyn ja siten myös tulkintaan. Selitys on argumentti, koska selityksen johtopäätös on johdettu premisseistä ja lopputulosta voidaan pitää odotettavana (Newton-Smith 2000, 471). Jos argumentti mielletään täysin kielelliseksi perustelluksi lauseeksi, niin selitysmallin argumentatiivisen luonteen voisi esittää siten, että joku kysyisi, miksi tietty asia tapahtui tai tulisi tapahtumaan. Vastaus tähän olisi muotoa siksi että... ja täten tieteellinen selitys on luonnollisessa arkikielessäkin argumentti – perustelu jollekin.

Induktiivis-statistinen malli saadaan täyttämään Hempelin deduktiivis-nomologiselle mallille asettamat ehdot pienillä muutoksilla perustuen induktioon ja statistiikkaan. Itse mallille asettamat ehdot näyttäisivät seuraavan laisilta:

- Selityksen tulee olla validi induktiivinen argumentti.
- Selityksen tulee sisältää vähintään yksi statistinen laki.
- Selittävillä tekijöillä tulee olla empiirinen sisältö

- Lauseet jotka rakentavat selittävät tekijät (partikulaariset faktat), tulee olla todennäköisiä.

Lakeja koskevat ehdot taas pysyvät melko samanlaisina, joskin ne kuvaavat partikulaarisia objekteja, mutta ne ovat aina palautettavissa yleisempiin statistisiin lakeihin, vaikka ne eivät koskaan pääse irti statistisuudestaan perustuen joko praktisiin ongelmiin (ei tarvittavaa teknologiaa, rahaa tai aikaa), episteemisiin ongelmiin (ei yksinkertaisesti tiedetä) tai siihen, että maailmassa tosisesti olisi redusoimattomia indeterministisiä ilmiöitä (ontologinen kanta). Loppujen lopuksi, induktiiviset päättelyt koskevat aina yksittäisiä tilanteita – instansseja. Selitys, kuten myöhemmin esitettävä tieteellinen malli, on poikkeuksetta niin sanotusti ”ongelmaspesifi” tai kontekstisidonnainen.

Deduktiivis-nomologinen malli kaikessa jyrkkyydessään kykenee selittämään loppujen lopuksi melko vähän modernin tieteen ilmiöitä, mutta induktiivis-statistisella selityksellä on myös omat ongelmansa, joista merkittävin osa perustuu juuri induktioon pohjautuviin ongelmiin. Deduktiivinen päättely on ns. monotonista, joka tässä kontekstissa tarkoittaa sitä, että lisäksi premisejä miten paljon tahansa, niin johtopäätöksen validiteetti ei kärsi, jos se on toiminut kerran. Sokrateen kuolevaisuuden deduktio ei muutu, vaikka premiseissä olisi hänen lisäksi joulupukki (Newton-Smith 2000, 128). Induktiolla ei ole tätä ominaisuutta, vaan sen johtopäätös on hyvin riippuvainen itse premiseistä.

Newton-Smith (Newton-Smith 2000) tarjoaa tästä esimerkkinä herra Yamamotoa. Jos herra Yamamoto on japanilainen, niin on todennäköistä, että hän painaa alle 150 kilogrammaa. Jos lisäämme premissiksi, että herra Yamamoto on sumopainija, niin todennäköisyys sille, että hän painaa alle 150 kilogrammaa on äärimmäisen pieni. Todennäköisyys kääntyi päinvastaiseksi yhdellä premissillä. Alberto Coffa (1974) esittää toisen samanlaisen, mutta eri tuloksen tarjoavan esimerkin: suurin osa texasilaista on miljonäärejä ja suurin osa filosofiista ei. Mikä on texasilaisen filosofin todennäköisyysstatus tässä tilanteessa? Induktio ei oikein toimi edellisen kaltaisessa tilanteessa. Hempel kutsuu tätä ongelmallista ilmiötä induktiivis-statistisen selityksen monitulkintaisuudeksi (Salmon 1984, 31; Salmon 1990, 57; Coffa 1974, 59).

Ohittaakseen monitulkintaisuuden ongelman, Hempel lisäsi induktiivis-statistiseen malliin vaatimuksen maksimaalisesta spesifisyydestä (tärkeää erottaa maksimaalinen täydellisestä), jolla tarkoitetaan sitä, että induktioon tulee sisällyttää kaikki mahdolliset tiedossa olevat ja

potentiaalisesti tiedettävät tekijät. Hempelin mielestä induktiivisen selityksen tulee nojata tietorunkoon, eli asioihin, jotka sillä hetkellä tiedetään. Ei ole yllättävää, että tämä tietorunko on aina puutteellinen ja näin ollen induktiivisen selityksen selitykset ovat ei-konfirmationaalisia episteemisiä käsitteitä suhteessa tietorunkoon ja tilastollisiin lakeihin.

Alberto Coffa (Coffa 1974) esittää, että jos meiltä pyydetään deduktiivinen selitys planeettojen liikkeistä, niin emme nojaa kenenkään subjektin tietoon, vaan selittäisimme sen deduktiivisilla laeilla. Mitä induktiivis-statistiseen selitykseen tulee, niin joudumme selittämään ilmiön suhteessa johonkin tietorunkoon, joka on yksilöllä tai yhteisöllä. Tällä on merkittäviä seurauksia, joiden vuoksi induktiivis-statistista mallia kohtaan on hyökätty lukuisista eri suunnista. Deduktiossa totuusarvo perustuu logiikkaan, ei niinkään asiatietoon. Maksimaalisen spesifisyyden vuoksi selittäjä joutuu siirtämään todistusfunktion tietorunkoon, joka on aina jokseenkin kyseenalaistettavissa, ja jos ei itsessään niin ainakin siinä että ei voida tietää mitä ei tiedetä. Täten Hempel joutuu asettamaan induktiivis-statistisen mallin episteemiseen relativismiin. Selityksen vakuus suhteessa todellisuuteen on relativistinen suhteessa siihen, mitä tiedetään ja mitä ei tiedetä (Coffa 1974, 64 – 65). Episteemisen relativismin vuoksi ei ole mitään estettä olla väittämättä, että induktiivis-statistiset selitykset ovat vain epätäydellisiä deduktiivis-nomologisia selityksiä (Salmon 1971, 50). Laplacen demoni ei käyttäisi induktiivis-statistista selitystä. Jos maailma on deterministinen, niin jokainen induktiivis-statistinen selitys totisesti on epätäydellinen deduktiivis-nomologinen selitys. Laplacen demonin tietorunko ei nauttisi pelkästään episteemistä maksimaalista spesifisyyttä, vaan episteemistä täydellisyyttä.

Peittävän lain mallien, etenkin teoreettiseen reduktioon nojaavien, suurin ja yleisesti tiedostettu ongelma on se, miten peittävät lait, joko universaalit tai statistiset, sitten tulisi selittää? Perinteiset peittävän lain mallit katsovat (nojaten edelleen teoreettiseen reduktioon), että lait voidaan redusoida aina yleisempiin lakeihin tai teorioihin. Redusoiminen on kuitenkin jokseenkin epätydyttävä, sillä kyseisessä tapauksessa selitys itsessään ei varsinaisesti lopu koskaan, sillä se altistuu ikuiselle regressiolle. On ehdotettu (Salmon 1998, 69), että lait voitaisiin vetää pois selityksen piiristä siten, että luodaan ”K-atominen lause”, jossa ’K’ tarkoittaa tietopohjaa (engl. knowledge), eli kaikkea sitä tietoa, mikä selityshetkellä on käytössä. Selityksessä etsittäisiin kaikki potentiaaliset lait, jotka siihen vaikuttaa. Potentiaaliset lait ovat siis lakeja, joita selitettäisiin redusoimalla niitä fundamentalisempiin lakeihin. Näitä kaikkia lakeja verrattaisi tietopohjaan K, jonka seurauksena voitaisiin päätellä, mikä laki on paras mahdollinen suhteessa tietopohjaan K siten, että muut lait

eivät olisi yhtä hyviä. Tässä ehdotuksessa otettaisiin episteeminen relativismi koskemaan myös lakeja. Edellisen kaltaisessa tilanteessa oltaisiin jo hyvin lähellä pragmatismia.

Salmon (Salmon 1971, 11) määrittelee, että induktiivis-statistinen mallin selitys on induktiivinen argumentti, joka antaa selityksen ilmiölle perustuen korkeaan induktiiviseen todennäköisyyteen. Salmonin oma malli – statistis-relevanttinen malli – taas pitää selitystä faktojen kokoonpanona ja faktat ovat statistisesti relevantteja selitettävälle ilmiölle, riippumatta siitä mikä niiden todennäköisyys on. Statistis-relevanttista mallia sivuttiin aikaisemman luvun ”Smoky-esimerkissä”.

Induktiivis-statistisen mallin selitys perustuu yhteen todennäköisyyteen – korkeaan todennäköisyyteen suhteessa päätelmään. Statistis-relevanttisisessa mallissa taas verrataan kahta todennäköisyyttä – varhaisempaa ja myöhäisempää. Selitys aloitetaan luomalla referenssiluokka, johon voidaan syöttää (esimerkiksi) yksilö, jolla on streptokokki-infektio. Referenssiluokan tehtävä on toimia pohjana, johon määritellään varhaisempi todennäköisyys sille, että (tässä esimerkissä) yksilö paranee nopeasti infektiostaan. Tämä referenssiluokka jaetaan kahdeksi alaluokaksi tai ”soluksi”, joissa toisessa tapauksessa annetaan penisilliiniä ja toisessa ei. Kyse ei siis ole luokkien statistisesta eroista, vaan niiden asetelmasta. Kyseinen yksilö voidaan esimerkin valossa sijoittaa siihen soluun, jossa tämä saa penisilliiniä, sikäli kun tämä on partikulaarinen fakta. Solu jossa yksilö on saa korkean todennäköisyyden paranemiselle, kun taas toisessa solussa se on jokseenkin pieni. Yksilön sijoittaminen soluun luo myöhäisemmän todennäköisyyden, joka siis tässä esimerkissä on nopeasti paraneminen. Salmon painottaa, että selityksen ei tule nojata korkeaan todennäköisyyteen vaan siihen, että varhaisemman ja myöhäisemmän todennäköisyyden välillä on ero ja täten jako on eron vuoksi relevantti. Merkitystä selityksen kannalta on sillä, kumpaan soluun ilmiö kuuluu perustuen partikulaarisiin faktoihin, ei tilastollisiin tai todennäköisyyksiin nojaviin laskennallisiin tiloihin.

Peittävän lain malleissa on selvästi nähtävissä loogisen positivismin pyrkimys tehdä täydellisen selityksen malli, joka on yleispätevä ja sen jälkeen pallo tavallaan heitettäisi tieteilijöille. Tehtävä todennäköisesti nähtiin sellaisena, että kerran sen tehtyä sitä ei tarvitse toista kertaa tehdä. On syytä pitää mielessä, että peittävän lain mallien aikakaudella fysiikka oli jotenkin fundamentaalinen tiede ja vallitsi yleinen uskomus, että loppujen lopuksi, ainakin selitysten kannalta, tarkin ja ”parhain” selitys on redusoitavissa fysiikkaan. Kyseisellä aikakaudella merkittävimmin vaiheina voidaan oikeastaan pitää sitä, että tieteellisen selityksen argumentatiivinen luonne kyseenalaistettiin Wesley

Salmonin toimesta. Tähän kuitenkin tuli pian muutos, jonka seurauksena ajatus universaalista selityksen teoriasta oli haudattava. Tilanne kuitenkin muuttuu hyvin erikoiseksi, kun lineaaristen totuuksia tuottavien selitysten malleista siirrytään biologiaan, jossa selitettävän ilmiön alun ja lopun määrittäminen voi olla jopa epämielekästä tai mahdotonta.

3.2 Syyt, seuraukset ja päämäärät

Menestynein tapa ohittaa lakien itsensä selittämisen ikuinen regressio on poistaa selityksestä peittävä laki selityksen kantajana, tekijänä joka toteuttaa selittämisen funktion. Monet filosofit pyrkivät perustamaan selityksen varsinaisen selityksellinen funktio kausaalille ketjulle, joka ei siis ole laki. Näin ilmiön ilmeneminen, ja täten selitys, ei perustu lain pakottamalle odotettavuudelle vaan ilmiön selitys on sen aiheuttaman syyn tunnistaminen. Kyseessä on näin myös jokseenkin historiallinen selitys, mutta myös samalla mahdollistaa tekemään päätelmiä siitä, miten ilmiö mahdollisesti ilmentyisi eri olosuhteissa ja aikoina. Siinä missä peittävän lain mallit ikään kuin toimivat kaikissa mahdollisissa maailmoissa, kausaalis-historialliset selitykset ovat tila-ilmiö-spesifejä ja näin lokaaleja ja kontekstisidonnaisia sen sijaan, että ne olisivat universaaleja. Yksittäisten ilmiöiden selittäminen kausaalisesti on täten jokseenkin triviaalia. Titanicin uppoaminen on selitettävissä sen törmäämisellä jäävuoreen. Jos haluaa tarkemman selityksellisen resoluution, niin taustalla vaikuttaneiden ilmiöiden ketjua voidaan aina tarkentaa. Kohta, jossa ketju katkaistaan, voidaan sopia esimerkiksi käytännöllisyyden kannalta. Jos ilmiö mielletään systeemiksi, niin voidaan systeemiä, vaikka dynaamista, käsitellä eristettynä systeeminä, joka on elliptinen versio aktuaalisesta systeemistä. Systeemiksi tässä vaiheessa tekstiä riittänee näkemys systeemistä joukkona kausaalisia operaatioita ja niistä vastaavia osia, jotka toteuttavat jonkin ilmiön.⁶ Yleisesti ottaen kausaalisia selityksiä voidaan pitää yksinkertaisina myös siten, että kausaalinen ketju on fysikaalisten ilmiöiden ketju. Kausaaliset selitykset ovat täten varmasti arkipäivinä eniten käytettyjä tapoja selittää. Kausaaliset, siinä missä nomologisetkin selitykset, joutuvat erityislaatuisiin ongelmiin etenkin biologiassa ja täten niitä on tärkeä käsitellä, jotta lukija ymmärtää lähtökohdan koskien tieteellistä selittämistä biologiassa.

Monet tieteenalat kuitenkin kuvaavat ilmiöitä, jotka ovat ultimaattisia (proksimaalisen sijaan). Näissä ilmiöissä vastaus kysymykseen ”miksi” on jokseenkin metatason kysymys, eikä koske

⁶ Tämä ei ole asian laita, mutta tekstin tässä vaiheessa ei vielä tarvitse tehdä selvää määritelmää systeemeille.

yksittäistä kausaalista prosessia, vaikka nämä yksittäisen kausaaliset prosessit olisivatkin sisällytettävissä näiden ultimaattisten ilmiöiden vaikutuspiiriin alle. Ultimaattisia selityksiä selitetään perinteisesti teleologisesti tai funktionaalisesti. Larry Wright ja Alberto Coffa ovat katsooneet, että teleologiset selitykset voidaan sisällyttää funktionaalsiin selityksiin välttämättä teleologian perinteiset vähemmän toivotut vivahteet filosofiassa. Toki voidaan selittää miksi juuri tämä partikulaarinen lintu muuttuu talveksi pois (linnulta itseltänsä tuskin kovinkaan tyhjentävää selitystä tulisi), mutta sillä kausaalisella ketjulla, joka saa tämän yksittäisen linnun (ja täten sen muutosproksimaalisen selityksen) muuttamaan, ei ole juuri mitään selittävää voimaa kysymykselle siitä, miksi linnut ylipäättään muuttavat. Proksimaalinen selitys ei kerro juuri mitään ultimaattisesta selityksestä. Tiivistetysti voidaan sanoa, että proksimaaliset selitykset (oli ne luonteeltaan mitä hyvänsä) vastaavat kysymykseen, miksi tämä partikulaarinen ilmiö tapahtui (Petteri-nimisen linnun muutto), kun taas ultimaattiset selitykset vastaavat kysymykseen, miksi linnut ylipäättään muuttavat. Ilmiö on sama, mutta selitys on hyvin erilainen.

Wesley Salmon (Salmon 1990) esittää, että teleologiset ja funktionaaliset selitykset (vaikkakin kauan sitten jo filosofiaan tulleina) nousivat uudelleen esille ennen kaikkea biologian kehityksen vuoksi 1970-luvun alussa. Toisin kuin auringonpimennykset, pyörivät majakat, ja ideaaliheilurit; biologiset prosessit ovat itseään ylläpitäviä, ja tavalla josta oli vaikea määrittää milloin selitettävä ilmiö alkaa ja milloin se loppuu. Voidaan tehdä sopimus, että selitettävä ilmiö alkaa, kun Galileo tiputtaa painon ja loppuu sen osuessa maahan, mutta mistä alkaa kortisoli-hormonin biosynteesi lisämunuaisessa adrenaliinin avulla, kun adrenaliinin itsensä biosynteesi tarvitsee kortisolia? Lisäksi monet biologiset ilmiöt, kuten evoluutio, edellyttävät ultimaattisia selityksiä, jotka eivät rakenna itseään lineaarisiin ketjuihin. Salmon kutsuu tätä biologisen vitalismin ongelmaksi (Salmon 1990, 111). Vaikka teleologialla on filosofiassa tänä päivänä melko härmistynyt vivahde, niin teleologiset selitykset eivät biologiassa ole lainkaan epäpäteviä. Teleologiset selitykset olisivat jokseenkin kausaalisia, mutta syyn sijaan niiden vetävänä voimana voidaan pitää päämäärää. Kausaalisia prosesseja kyllä, mutta siinä missä perinteisissä kausaalisissa selityksissä seuraukset selittyvät syyllä, niin teleologisissa selityksissä syyt selittyvät seurauksilla.

Kuten aikaisemmin mainittuna, teleologialla on ollut huono maine tieteenfilosofiassa ja esimerkiksi Larry Wright kutsuukin omaa päämääräsuuntaista käyttäytymisselitystään teleologian sijaan

seurausetiologiaksi. Yksinkertainen esitys seurausetiologiasta on esimerkiksi se, että käyttäytyminen B ilmenee siksi että B on ollut kausaalisesti toimiva menneisyydessä saavuttamaan tietyn päämäärän. Esimerkiksi kissojen tapa saalistaa vaanien on toiminut aikaisemmin (ja on täten kausaalisesti sisällytettävissä) ja täten kissa toimii päämääräorientoituneesti (Salmon 1990, 112). Biologiassa solutasolla ei kuitenkaan ole luonnonvalinnan tai ylinaturalistisen tekijän luomia päämääräorientoituneita toimijoita, jotka aktiivisesti pyrkivät johonkin päämäärään. Passiivisesti kylläkin ja sitä voidaan jo pitää elämän itsensä ihmeenä. Erityisen suurta huomiota tulee solujen tapauksessa kiinnittää juuri ilmaisuun ”ei-aktiivisesti”. Solun sisäiset prosessit ovat aina ympäristöriippuvaisia ja passiivisia ja yleisesti hyväksytään että solun sisäinen tila (solulima ja sen sisältämät toimijat, jotka eivät ole soluelimiä) ovat stokastisia. Neuronin kalvojännitteestä (osittain) vastaava ionipumppu ei saanut nimeänsä tyhjästä. Se totisesti on pumppu ja tarvitsee energiaa kirjaimellisesti pumpataksaan ioneja. Toisaalta ionipumppu ei voi vaikuttaa siihen, saako se energiaa, onko ylipäätään mitään pumpattavaa ja jos vastaus kahteen edelliseen on kieltävä, niin se on vain monimutkainen proteiinerakennelma. Jos taas kaksi edellistä ehtoa täyttyy, niin ionipumppu ei voi heittäytyä lakkoilemaan, vaan sillä ei ole tavallaan muuta vaihtoehtoa kuin vaihtaa muutama kalium- ja natrium-ioni läpeensä käyttäen siihen itse adrenosiinitrifosfaattia käyttääkseen tämän kovalenttisen sidoksen purkamisesta saadun energian. Totisesti monimutkainen prosessi mutta kyseessä on passiivinen toiminta.

Moni ilmiö tai prosessi aktualisoituu siten, että ilmiön tai prosessin aktualisoija vain yksinkertaisesti on oikeassa paikassa oikeaan aikaan. Salmon tarjoaa esimerkiksi sanomalehteä tungettuna oven listan väliin. Sanomalehti suorittaa tässä eristeen funktiota yksinkertaisesti lokalisaationsa vuoksi, ei siksi että se pyrkisi siihen. Toiseksi jos sanomalehti olisi lokalisoitunut jonnekin muualle (kuten takkaan), niin sen funktio tai tehtävä eristeenä lakkaa olemasta. Seurausetiologiset selitykset perustuen vain jonkin lokalisaatioon ovat funktionaalisia selityksiä. Vastaus kysymykseen ”miksi” on kyseinen funktio ja seurausetiologisessa selityksessä vastaus olisi päämäärä. Täten ei ole yllättävää, että teleologiaa ja functionalismia tieteellisissä selityksissä yleensä käsitellään samanaikaisesti. (Salmon 1990, 113). Funktionaalisissa selityksissä on myös huomionarvoista se, että ne ovat dedusoitavissa. Funktion suorittava toimija on tavallaan premissit ja jos se on oikeassa paikassa oikeaan aikaan, niin tätä pystyy pitämään jonkinlaisena lakina, että funktiosta vastaava toimija ei voi toimia muulla tavalla perustuen kausaalsiin prosesseihin, jotka aktualisoituvat passiivisesti samalla tavalla, kuten keilapallon vieriminen kaltevalla tasolla. Täten on periaatteessa palattu Hempelin deduktiivis-nomologiseen selitykseen, mutta tämän tekstin ja

biologisten selityksen kannalta lienee tärkeämpää pala luvun 2. alkupuolelle ja huomioida modaalinen kanta, jossa selityksen ominaisuudet kohosivat asiantilojen muutosten mahdollisuuksista ja välttämättömyyksistä. Jos lehti on oven tai ikkunan välissä, niin lehti ei valitse olevansa eriste, siinä missä neuronin ionipumppu ei valitse olevansa ionipumppu.

3.3 Mekanismit funktion toteuttajina

Biologia ja muut elämäntieteet poikkeavat perinteisistä tieteistä, kuten kemiasta ja fysiikasta siten, että niiden toiminnasta ja täten käyttäytymisestä vastaavat systeemit ovat dynaamisia ja itseään ylläpitäviä ja sääteleviä. Monet kausaaliset selitykset esimerkiksi katsovat, että jokin aiheuttaa jonkin, mutta biologiassa ja muissa elämäntieteissä aiheuttaja ja aiheutettu on sama mekanismi. Edellisessä alaluvussa käytin esimerkkinä kortisolin ja adrenaliinin biosynteesin ketjua, jossa on tietynlainen takaisinsyöttö, eli systeemin tuotokset (tai vasteet) ovat saman systeemin syötteitä. Insinööriikassa, kybernetiikassa, tietokonetieteissä ja tekoälytutkimuksessa vastaavanlaiset systeemit ovat arkipäivää, mutta nämä oli hyvin pitkään eroteltuina perustutkimuksena soveltavan tutkimuksen sijaan. Nykyään tosin on arkipäivää törmätä etenkin elämäntieteissä samankaltaisiin dynaamisiin systeemeihin, jotka itse säätelevät itseään. Tämä on aiheuttanut massiivisen filosofisen työn tutkimaan selityksiä juuri biologiassa, sillä kyseiset selitykset ovat hyvin erilaisia perinteisistä näkemyksistä, kuten peittävän lain malleista tai lineaarisista kausaalisista selityksistä. Biologiassa on usein systeemejä joissa on sisällytettyinä lukuisia eri tekijöitä suorittamassa funktioita, ja monet funktioita suorittavat tekijät suorittavat useampaa kuin yhtä funktiota. Tiedetään esimerkiksi tapaus, jossa muurahaisen tuntosarvista oletettavasti vastaava geeni *Antp-Hox* hiljennettiin ja odotettiin, että muurahaiselle ei kasvaisi tuntosarvia. Vastoin odotuksia hyönteiselle kasvoi tuntosarvien sijaan päähän jalat, joten kausaalinen suhde geno- ja fenotyypin välillä ei ole lineaarinen ja hyönteinen tarvitsee useita genejä tuntosarviin, joita myös hyödynnetään jalkojen kehityksessä. Nykyään kovaa noususuhdannetta nauttiva epigenetiikka ei tee asiasta yhtään yksinkertaisempaa.

Aikaisemmissa alaluvuissa mainittiin funktionaalisten selitysten yhteydessä, että siinä missä biologisten selitysten ultimaattinen aspekti on funktionaalinen, niin niiden proksimaalinen aspekti on taustalla vaikuttava kausaalinen ketju joka toteuttaa funktion. Näiden kahden yhdistämistä yhden selitysmallin alle kutsutaan mekanistiseksi selittämiseksi. Mekanismit eivät ole mikään uusi keksintö. Kuten mainittua, kybernetiikka tutki mekanismeja siinä missä insinööriikkakin kauan

ennen kehittynyttä tai modernia biologiaa, joka ei ole taksonomisesti orientoitunut, vaan enemmänkin biokemiallisiin prosesseihin suuntaava, mutta näitä pidettiin jotenkin ihmisten artefaktuaalisina soveltamisina, jotka vain jäljittelevät luontoa sen kuvailemisen tai mallintamisen sijaan. Ei ole yllättävää, että biologiassa selityksiltä odotetaan sitä että ne paljastavat taustalla vaikuttavan mekanismin, joka on vastuussa funktiosta. Mekanistiset selitykset biologiassa herättävät monia kysymyksiä, kuten mikä on mekanismi, minkälainen on hyvä mekanistinen selitys, millä tavalla mekanistiset selitykset eroavat toisistaan, ja ovatko biologiset mekanismit jollakin fundamentaalaisella tavalla erilaisia mekanismeja, kuin esimerkiksi fysiikassa. Ei ole kuitenkaan liioiteltua sanoa, että jos etsii kirjallisuutta mekanistisesta selittämisestä tai mekanismien filosofiasta, niin ei voi olla törmäämättä biologiaan. (Craver ja Darden 2005, 233).

Biologia on varsin menestynyt mekanistisen filosofian jalanjäljissä, joka nojaa voimakkaasti fysiikkaan. Tällä lienee jotakin tekemistä vitalismin vastustamisen ja konkreettisen menestyksen kanssa, ei pelkästään biologisessa tutkimuksessa, vaan myös konkreettisesti insinööriikassa. Harva voi väittää, etteikö esimerkiksi auton akun laturi tai kerrostalon hissi toimisi. Riippumatta selityksellisestä orientaatiosta, hissi nostaa kyllä tiettyyn kerrokseen (hyvässä uskossa). Craver ja Darden (Craver ja Darden 2005) esittävät yhdeksän historian aikana kehittynyttä aspektia tai näkemystä koskien mekanistista filosofiaa (jokseenkin biologian perspektiivistä).

- Mekanismit ovat koneita. Kone on aparaatti, jossa järjestäytyneet osat ja niiden väliset vuorovaikutukset ovat helposti ymmärrettävissä. Maailman käsitteellistäminen koneiksi helpottaa selittäjää ymmärtämään ja ennustamaan sen käytöstä.
- Mekanismit ovat naturalisoitavissa, eikä niiden tarvitse nojata mihinkään yliempiiriseen dataan tai oletuksiin. Esimerkiksi biologiset mekanismit ovat redusoitavissa kemiaan ja fysiikkaan, eikä mitään vitalismia tarvitse olettaa.

- Mekanismit noudattavat määrällistä määrää lakeja ja periaatteita. Tästä ei kuitenkaan voida johtaa kiistatonta mahdollisuutta reduktionismille ainakaan monitasoisissa selityksissä.
- Mekanismit toimivat tässä hetkessä. Niiden toiminta ja organisaatio määrittelee niiden käytön tässä ja nyt. Mekanismiin ei vaikuta sen aikaisemmat tilat tai tulevat teleologiset lopputulokset. Mekanismit eivät siis ole teleologisia. Biologiset mekanismit ovat kehittyneet luonnonvalintana, mikä on adaptaatiota tarpeeksi hyvään mekanismiin, ei teleologista kehitystä kohti parhainta mahdollista mekanismia.
- Vaikka biologiset mekanismit noudattavat funktioita joita voidaan kuvata laeilla, niin niiden täytyy olla niin robusteja, että ne kykenevät toimimaan äärimmäisen voimakkaassa melussa ja stokastisessa ympäristössä. Täten biologisia
- mekanismeja ei ainakaan ympäristönsä puolesta voida pitää deterministisinä.
- Mekanismit ovat atomistisia. Mekanismit koostuvat määrällisestä määrästä atomistisia osia, jotka lakkaavat olemasta mekanismin osia silloin, kun ne eivät enää suorita funktiotaan mekanismissa.
- Mekanismeilla on temporaalisia siirtymätiloja. Mekanismeista voidaan havaita alku- ja lopputiloja, joskaan selityksen kannalta on usein vaikea määrittää sitä, mistä funktio itse alkaa ja loppuu. Täten mekanismi on jokseenkin prosessi.
- Mekanismeja voidaan kuvata matemaattisilla funktioilla ja systeemiteoreettisilla malleilla.
- Mekanismeja voidaan tutkia kokeellisesti.

(Craver ja Darden 2005, 235)

Mekanistisissa selityksissä (ja filosofiassa) reduktiolla on jokseenkin erilainen merkitys, kuin muissa tieteissä tai pikemminkin niiden filosofiassa. Palaten ultimaattisiin ja proksimaalisiin selityksiin, niin biologisissa tieteissä reduktio on esimerkiksi funktionaalisen ultimaattisen selityksen reduktiota taustalla vaikuttavien kausaalisten mekanismien tunnistamista ja proksimaalisen selityksen esittämistä. Toisin kuin klassisessa tieteen reduktiossa (kuten kemia on redusoitavissa fysiikkaan jne.), mekanistisissa selityksissä reduktio loppuu yksinkertaisesti siihen, että mekanismin osat ja funktiot on tunnistettu tarkasteltavan mekanismin kannalta. Mekanismi itse määrittää oman toimialansa ja täten itse katkaisee oman kausaalisen ketjunsä, eikä sopimusta tarvitse tehdä perustuen esimerkiksi informaatiotaloudellisiin sopimuksiin. Toisin sanoen mekanismit voidaan purkaa osiin, mutta se ei ole reduktiota jollekin toiselle selitykselliselle tasolle. (Craver ja Darden 2005, 237).

Mekanistiset selitykset pitävät sisällään kausaalista selittämistä (ja niitä joskus kutsutaankin kausaalis-mekanistisiksi), mutta ne kontrastoidaan melko voimakkaasti peittävän lain mallien kanssa. Mekanismin toimivuus ei perustu johonkin universaaliin lakiin sinänsä. Ei ole esimerkiksi mitään ”kontrollisysteemin lakia”, joka pätsi kaikkiin kontrollisysteemeihin. Tämä johtuu myös siitä, että periaatteessa mikä tahansa systeemi tai mekanismi voi olla kontrollisysteemi, suljettu systeemi, avoin systeemi jne. Ilmiön selittäminen mekanistisesti lähtökohtaisesti alkaa sen toteuttavan mekanismin kuvauksella eli deskriptiivisesti. Kuvaus edellyttää, että mekanismista tulee rakentaa malli, joka määrittelee ilmiön kannalta relevantit mekanismin osat, niiden operaatiot, ja organisaation (eli sijainnin suhteessa toisiinsa) mekanismin sisällä. Tämä myös rajaa mekanismin. Jos ampuma-aseen toiminta selitetään mekanistisesti, niin siihen vaikuttavat osat, niiden operaatiot, ja organisaatio ampuma-aseen sisällä ei vaadi ottaa huomioon kitkaa, ilmanpainetta jne. Näiden osien ja niiden suorittamien operaatioiden tai funktioiden välisiä suhteita kuvataan juurikin kausaalisilla selityksillä. Mekanismin mallit ovat usein visuaalisia kuvauksia, kuten diagrammeja ja simulaatioita, kun taas peittävän lain malleissa selitykset ovat lingvistisiä kuvauksia. Siinä missä peittävän lain mallit näyttävät ilmiön olleen odotettavissa perustuen logiikkaan, niin mekanistiset mallit tyypillisesti demonstroivat ilmiön toteutumista simulaatioilla. Mekanismista voi harvemmin vetää minkäänlaisia johtopäätöksiä, ellei sen toimintaa näe dynaamisesti. Dynaamisuudella siis tarkoitetaan tässä kontekstissa sitä, että mekanismin tila muuttuu eri aikojen välillä. Toisin kuin peittävän lain mallit, mekanistiset selitykset pystyvät artikuloimaan miten mekanismi löydettiin.

Peittävän lain malleissa ilmiö oletetaan tapahtuneen ja täten se ikään kuin vain on odottamassa selittäjäänsä. Mekanismeja voidaan testata simulaatioissa tai kokeellisesti konkreettisesti maailmassa. Niitä voidaan löytämisen sijaan myös tehdä. Peittävän lain mallien suhde konkreettiseen maailmaan on metafyyminen ja/tai looginen välttämättömyys, mutta mekanismeilla voidaan vaikuttaa tässä ja nyt (esimerkiksi synteettisessä biologiassa). Mekanismit nauttivat siis pragmatismien vapauksista, mutta ne ovat myös riippuvaisia modaalisisista ehdoista, jotka ovat saavutettu empirisesti. Tämän kaltaisia tilanteita ovat mm. metallien sulamispisteet ja suolan liukoisuus. (Craver ja Darden 2005, 240 – 244).

Craver kumppaneineen (Craver et al. 2000) määrittelevät mekanismin entiteetiksi ja sen toiminnaksi (on syytä huomata että mekanismi on näitä kumpaakin samanaikaisesti), jotka ovat organisoituneet tavalla, jossa ne tuottavat säännöllisiä muutoksia alkutilasta lopputilaan (toinen alkutila ei välttämättä ole sama, kuin ensimmäinen alkutila, joskin tämän kaltaiset mekanismit ovat lyhytikäisiä). Säännöllisellä muutoksella tarkoitetaan juuri sitä ominaisuutta, että mekanismit eivät juuri funktiona kannalta ala tai lopu ultimaattisessa mielessä. Ne pyörivät ikään kuin kehää. Yksinkertaisesti biologisen mekanismin voisi esittää kuvaamalla hermoimpulssin (toimintapotentiaalin) syntymistä ja purkautumista synapsiraossa keskus- tai ääreishermostossa. Melko vahvasti yksinkertaistettu kuvaus toimintapotentiaalin synnystä ja ”päättymisestä” olisi neuronin pintajännitteen muuttuminen perustuen ionien epätasapainoon ja tämä ionien epätasapainon aiheuttama jännite-ero toimintapotentiaalina (kansankielisesti hermoimpulssina), kulkee aksonia pitkin hermon päähän, jossa jännite taas muuttuu siten, että hermo ”vuotaa” välittäjäaineita sisältävät vesikkelit synapsien väliseen tilaan ja ionien välinen tasapaino palautuu, kunnes sama toistuu uudestaan ja graafisesti kuvattuna ilmenee oskilloivasti. Edellinen esimerkki on äärimmäisen yksinkertainen kuvaus toimintapotentiaalista, mutta se kuvaa mekanismin tietynlaisesta vakio-tilasta, lopputilasta, välivaiheista ja tyypillisestä tavasta toistua sikäli kun asiantilat ovat tietynlaiset, eli ioneja kertyy solujenväliseen tilaan. Näiden kaikkien yhteen liittäminen on kuvaus siitä mekanismista, joka on vastuussa toimintapotentiaalista. Mekanismi paljastaa, miten ilmiö syntyy ja lisäksi miksi se syntyy. Mekanismeja tarkastellessa ne usein katsotaan koostuvan entiteeteistä ominaisuuksineen ja niiden aktiviteeteista, jotka vastaavat mekanismin sisäisestä muutoksesta. Esimerkiksi hermoston välittäjäaineet ja niitä vastaavat reseptorit ovat entiteettejä ominaisuuksineen ja näiden välinen organisaatio ja aktiviteetit määrittelevät tavan, jolla ne tuottavat ilmiön. Tässä vaiheessa on hyvä huomioida, että jos entiteetti erotetaan kokonaismekanismista tai systeemistä, niin se menettää kutakuinkin kaikki sen

ominaisuudet. Tätä ilmiötä kutsutaan mereologiseksi emergenssiksi josta lisää tuonnempana, mutta tämä on tärkeä havainto, sillä mekanismin kannalta tärkeitä on juurikin organisaatio. Mitokondrio ei ole mitokondrio mekanistisessa mielessä, jos se ei ole solussa, kuten lehti ei ole eriste, jos se palaa takassa. Tässä tekstissä on usein käsitelty systeemejä jokseenkin synonyymeinä mekanismeille, mutta erottelu lienee järkevintä tehdä esimerkillä, että systeemi on se aparaatti, joka suorittaa jotakin mekanismia. Mekanismi on siis prosessi, kun taas systeemi on se aparaatti, joka mahdollistaa tämän mekanismin.

Selitys ei siis nojaa siihen, että perustuen joihinkin partikulaarisiin faktoihin ilmiö oli odotettavissa, vaan selitys perustuu ilmiön taustalla vaikuttavan mekanismin osiin, niiden organisaatioon, ja näiden välisiin aktiviteetteihin. Aktiviteetti terminä voi olla jokseenkin hämärä, mutta termiä käytetään juuri siksi, että entiteettien organisaatio – paikka ja muoto mekanismeissa – tekevät niistä ilmiön kannalta spesifejä ja rigidejä siten, että ne eivät häiriinny niille tarkoituksettomista ärsykkeistä. Täten mekanismin funktion kannalta prosessit, jotka siihen vaikuttavat, eivät ole täysin passiiviseksi tulkittavia sinänsä.⁷ Mekanistiset selitykset muodostavat produktiivisen jatkumon ja hyvässä mekanistisessa selityksessä ei ole selityksellisiä aukkoja. Mekanismin voisi kuvata vaikka $A > B > C$, jossa A, B ja C ovat entiteettejä ja nuolet representoivat aktiviteetteja. Selityksellinen aukko olisi positio, jossa nuolta ei olisi. Toisin sanoen mekanismeissa ei olisi tunnistettu, vaikka osat olisivat käsillä. Aktiviteetit voidaan mieltää kausaaliseksi prosesseiksi, mutta mekanistisissa selityksissä tätä konnotaatiota pyritään jokseenkin välttämään, sillä se tekee tyhjäksi mekanismin produktion ja muutokseen nojaavat näkemykset. Lisäksi monet mekanismit ovat konstitutiivisia siten, että niiden kausaaliset prosessit perustuvat prosessien itsensä sijaan niiden positioon itse mekanismeissa. (Craver et al. 2000, 4).

Puhtaasti osiin ja niiden ominaisuuksiin perustuva näkemys mekanismeista katsoo, että osien aiheuttamat toiminnot ovat jokseenkin pseudoprosesseja ja mekanismit ovat redusoitavissa täysin kausaalisesti osien ominaisuuksiksi. Tämä kanta siis kieltäisi aidot emergentit ilmiöt. Craver kumppaneineen (Craver et al. 2000, 5) katsovat, että tämä on jokseenkin virheellinen tulkinta mekanismien aktuaalisesta statuksesta, sillä mekanismit tekevät spesifejä asioita – mekanismit ovat aktiivisia, tai ne voidaan tulkita aktiivisina. Tätä näkemystä kutsutaan prosessiontologiaksi ja siinä

⁷ Tämä ilmiö on melko usein argumenttina älykkään suunnittelun teorioissa.

katsotaan, että toiminnot ovat aitoja kausaalisia prosesseja ja ontologisia yksiköjä ja näin niiden redusoiminen pelkästään osien ominaisuuksien vuorovaikutukseksi on vähintäänkin ongelmallista. Prosessiontologit ovat varsin tietoisia siitä, että toiminnot ovat osien aktiviteetteja, mutta huomauttavat, että siinä missä on erilaisia osia, niin on erilaisia toimintojen aiheuttamia muutoksia. Toiminnot ovat näin tunnistettavissa ja ”eristettävissä” samaan tapaan miten osien niiden ominaisuuksien ja spatiotemporaalisten tilojen mukaan. Neuronin ionipumppu voi olla passiivinen, vaikkakin työtä tekevä jos ympäristö suo, mutta sen toiminnalla on aitoja ontologisia seuraamuksia. Täten sen kausaalinen rooli systeemissä kokonaisuudessaan ei ole jokin epifenomenologisen ilmiön kaltainen. Siinä missä peittävän lain malleissa premiseistä, joiden vastine mekanistisessa selityksessä ovat osat, johdettiin muuttava prosessi tai ilmiö yleisellä tai statistisella lailla, niin mekanistisessa selityksessä tämä ”johtaminen” ilmenee toimintojen funktionaalisenä roolina yleisen lain sijaan. Nämä funktionaaliset roolit ovat kuitenkin ehtojen alaiset. Ionipumppu ei toimi ilman ATP-molekyylejä. On huomioitava, että osan funktio on aktivoida tai aloittaa toiminto, kun taas toiminnon funktionaalinen rooli on suorittaa tai tuottaa muutos. Tämän funktionaalisen roolin vuoksi prosessiontologit katsovat prosessit erillisiksi entiteeteiksi. Ne eivät ole osien ja systeemien alku- tai lopputiloja, vaan todellisia entiteettejä.

Hyvä esimerkki havainnollistaa sitä, miten aktiviteetit mielletään jokseenkin väärin, on tapa, miten yleensä aktiviteetit kuvataan funktioina, jotka ovat jonkin systeemin tai mekanismin osan ominaisuus. Usein käytetään esimerkiksi ilmaisua, että sydämellä on ominaisuus tai kyky pumpata verta. Tämän kaltainen kielenkäyttö vahvistaa voimakkaasti intuitiota siitä, että toiminnot eivät olisi osista erillinen ontologinen yksikkö. Biologiassa kuitenkin täytyy usein turvautua holismiin, sillä sydämellä ei ole ominaisuutta pumpata verta, vaan sydän pumppaa verta. Veren pumppaus on aktiivinen prosessi ja se ei ole irrallaan muusta verenkiertojärjestelmästä (Craver et al. 2000, 6). Tämä on myös yksi motiivi selittää biologisia ilmiöitä mekanistisesti yksin omaan kausaalisten selitysten sijaan, sillä mekanismit eivät ole eristettyjä systeemejä, vaikka niiden mallintaminen esimerkiksi liitutaululla voi antaa näin ymmärtää. Sydämen kannalta sen funktio ei pelkästään ole syöttää verta eteenpäin, vaan se myös vastaanottaa sitä. Lisäksi useat mekanismit käyttävät omia vasteitaan syötteinä ylläpitääkseen homeostaasia (esimerkiksi kortisoli-adrenaliini sykli). Kausaaliset selitykset ovat lineaarisia, kun taas biologiset prosessit ovat hyvin harvoin lineaarisia. Kausaalisessa tematiikassa toimintoja voidaan pitää syinä ja mekanismeissa on pitkiä kausaalisia ketjuja. Esimerkiksi penisilliini ei poista keuhkokuumetta, vaan se, mitä penisilliini tekee elimistössä (sama erottelutapa kuin sydämen pumppaamisella ja pumppaaminen ominaisuutena).

Craver kumppaneineen (Craver et al. 2000, 21) esittävät, että mekanistisen tarkastelun kanta ei välttämättä ole se, miten jokin ilmiö tulisi selittää, vaan pikemminkin, miten se tulisi ymmärtää. Tapa jolla mekanistinen skeema esittää jonkin ilmiön voi olla oikea tai väärä, mutta kummassakin tapauksessa se on ymmärrettävissä. Maakeskeinen näkemys aurinkokunnasta on väärä, mutta se on kuitenkin täysin ymmärrettävä. Mekanistiset selitykset tai skeemat ovat täten kuvauksia siitä, miten mahdollisesti ilmiö tapahtuu, tai miten se aktuaalisesti tapahtuu. Toisaalta voidaan myös tehdä selityksellisiä mutantteja mallintamaan sitä, miten maailma ei ainakaan toimi. Mekanistisen selityksen tai skeeman ymmärrettävyys ei siis perustu siihen, miten oikeassa tai väärässä mekanistinen skeema, kuvaus tai selitys on vaan siihen, miten järkeenkäypää yhteys selityksellisten alkutilojen (osien, niiden ominaisuuksien, jne.) ja lopputilojen (produktioiden ja toimintojen) välinen suhde on. Mekanismit ovat näin myös tulkinnanvaraisia. Mekanismi voi olla aktuaalinen, mutta mekanistinen tulkinta edellyttää selittäjän tai käyttäjän. Tämä on jokseenkin itsestäänselvyys esimerkiksi kybernetiikassa, insinööriikassa ja muussa mekaniikassa. Kukaan tuskin kieltää sitä, että ruuvi (joka itse asiassa on kierretty suorakulma) toimii materiaalin kasaamisen tukijana, mutta ruuveja ei varsinaisesti löydy ”luonnosta”. Joskin Petri Ylikoskea lainatakseni ”luonnossa ei ilmene mitään luonnotonta”.⁸ Craver kumppaneineen esittää, että esimerkiksi neuronien signaloinnista voitaisiin tehdä mekanistinen skeema, jossa toimintapotentiaali perustuu neuronien aksonien värähtelyyn. Skeema on täysin väärässä, mutta se on täysin ymmärrettävä (Craver et al. 2000, 22). Kosmologiassa moiset kilpailevat näkemykset ovat arkipäivää. Hiukkasfysiikan standardimalli toimii sekä alkeishiukkasina siinä missä supersäikeinäkin.

Aikaisemmissa kappaleissa on esitelty ajatusta siitä, että mekanismin selitystaso tulisi rajata selitettävän ilmiön kannalta relevantisti. Metodi on pragmaattinen tai voi perustua vain siihen, että tarvittavaa teknologiaa, rahoitusta tai aikaa ei yksinkertaisesti ole. Monesti selitykset ovat episteemisesti saavuttamattomissa, mutta toisaalta epistemologia myös mahdollistaa asioiden päättelyn ilman empiriaa. Tämä on oikeastaan mahdollisten maailmojen määrän rajoittamista perustuen jo-tiedettyyn tietoon. Esimerkiksi biokemiaa koskevat selitykset eivät tarvitse kvanttimekaniikkaa. Merkuriuksen ylilento ei myöskään kaipaa supersäieteoriaa.⁹ Relevantin rajauksen lähteenä tulisi olla produktiiviset relaatiot, rajata selitettävä ilmiö ja siitä vastaavat

⁸ Henkilökohtainen keskustelu.

⁹ Ylilennolla tarkoitetaan maasta havaittua ilmiötä, jossa jokin kappale tulee tarkastelijan ja auringon väliin. Auringonpimennys on periaatteessa kuun ylilento.

mekanismit perustuen niihin produktioihin, joita ne tuottavat ja jotka ovat loppujen lopuksi varsinaisia selityksen kohteita. Säännönmukaisuudet ja niiden redusointi aina vain pienemmille tasoille ei palvele mekanististen selitysten agenda, jos produktiot paljastavat mekanismin vaikutuksen ja näin sen funktion mahdollisessa makromekanismissa tai systeemissä. Tämä toimii myös linkkinä motivaatiolle käsitellä tuonnempana esitetyssä systeemibiologiassa pelkästään malleja, sillä ne ovat tietynlaisia konstruktioita näistä mahdollisista maailmoista. Säännönmukaisuudet ja kausaaliset prosessit eivät ole niitä, mitä tulisi selittää, vaan ne toiminnat jotka ylläpitävät kausaalisia prosesseja ja säännönmukaisuuksia ovat selityksen ja täten kiinnostuksen kohteita. Joskin laimea mutta tehokas tapa havainnollistaa tätä on esimerkki siitä, että moni asia voi toimia jonakin. Esimerkiksi sanomalehti tiivisteenä siinä missä ammattilainen käyttäisi uretaania (etyylikarbamaatti) tai silikonia.

Mekanismien filosofisesta statuksesta on käyty kiistaa ontologisen ja episteemisen kantojen välillä. Perinteisesti episteemisesti orientoituneet selitykset siis katsovat, että ilmiö on odotettavissa perustuen sen lähtökohtiin (premissisiin, alkutiloihin, systeemin konfiguraation jne.), johonkin lakiin (statistiseen tai universaaliin) ja loogiseen päättelyyn. On tärkeä kuitenkin painottaa, että nyt ei haeta peittävän lain mallia, vaikka siltä kuulostaakin. Erottelu episteemisen ja ontologisen kannan välillä on se, että mikä toteuttaa ja/tai oikeuttaa uskottavuuden. Oikeuttaako sen todellisuus, tieto tai modaalinen ”välttämättömyys”. Episteeminen kanta ei edellytä ilmiöltä sitä, että se on tapahtunut tai että ilmiö koskaan tulisi tapahtumaan. Idea on se, että jos olisi tietyt olosuhteet ja tietyt lait niin siitä seuraa tapahtumien ketju, joka on loogisesti odotettavissa edellisistä riippumatta siitä, miten konkreettinen maailma makaa. Neuronin kalvon ionipumppu pumppaisi natrium- ja kaliumioneja riippumatta siitä, onko neuroneja ylipäättään olemassa. Ontologinen kanta taas katsoi että selitykset toimivat juuri siksi, että maailma jossa selitettävät ilmiöt ilmenee, toimii selitysten kuvaamalla tavalla. Kukaan ei olisi osannut odottaa, että ionipumput toimivat tietyllä tavalla, mutta molekyylibiologisen tutkimuksen seurauksena moisia biologisia systeemejä on löydetty ja ne toimivat sillä tavalla. Ei liene yllättävää että ontologinen kanta nojaa erittäin voimakkaasti kausaaliin selityksiin ja episteeminen jokseenkin nomologisiin, eli lakeihin perustuviin selityksiin. Nomologista orientaatiota ei kuitenkaan sovi automaattisesti soveltaa mielivaltaisesti. Lait voidaan helposti korvata mekanistisissa selityksissä tietynlaisiin ehtoihin (ei universaaleihin lakeihin) perustuviin ominaisuuksiin, joilla on modaalaisia mahdollisuuksia ja välttämättömyyksiä. Rikkoutuessaan systeemi tai mekanismi menettäisi funktionsa ja täten identiteettinsä. Modaalisen

kannan ei tarvitse kuitenkaan haikailla systeemin ja sen suhteen todellisuuteen, sillä hajonnut systeemi ei ole enää mahdollisuuksien ja välttämättömyyksien avaruudessa mukana.

Voimakkaasti ontologinen mekanistinen selitys pohjautuu ajatukseen, että selitettävä ilmiö ja tämän selityksen mekanismi sopii yksi yhteen maailman kausaalisen rakenteen kanssa. Ontologisesti orientoitunut mekanistinen selitys siis purkaa ilmiön mekanismiksi ja sijoittaa sen konkreettiseen maailmaan. Näin mekanismi ei ole ilmiön representaatio, vaan selitys maailmasta itse. Episteeminen kanta mekanistisissa selityksissä ei ole niin yksinkertaisesti verrattavissa ontologisen kannan tapaan käyttäytyä samalla tavalla, miten se käyttäytyy lineaarisissa selityksissä, eli nomologisissa ja puhtaasti kausaalisisissa selityksissä. Filosofisesti orientoitunut kognitio- ja tietokonetieteilijä Pauli Brattico sanoi (kognitiotiedettä koskevan keskustelun yhteydessä) että, on kahdenlaisia ihmisiä, malli ja aivotyyppejä. Mallityypit keksivät mallin ja koittavat asettaa sen aivoihin, kun taas aivotyypit löytävät aivoista toiminnon ja koittavat mallintaa sitä. Erottelu episteemisen ja ontologisen kannan välillä on analoginen Bratticon havainnollistamiselle.¹⁰ Mekanismien tapauksessa eroa episteemisen ja ontologisen kannan välillä lienee helpoin hahmottaa analogisesta kaksijakoisuudesta logiikassa – psykologismin ja logismin välillä. Modernin logiikan kentällä on väännetty kättä ajatuksesta psykologismin ja logismin välillä. Psykologismi katsoo, että loogiset totuudet yms., eivät ole maailman välttämättömyyksiä tai ”ideoita”, vaan ne ovat formaaleja malleja siitä, miten ihminen käsittää ja jäsentää maailmaa. Esimerkiksi kolmannen poissuljetun laki (ei voi olla niin, että A ja A:n negaatio) on laki perustuen puhtaasti ihmisen mielen ominaisuuksiin, ei maailman ominaisuuksiin sinänsä. Episteeminen kanta mekanismeilla on kutakuinkin samanlainen kuin psykologismi, joskaan mekanistisen ajattelutavan ei odoteta kumpuavan luonnostaan ihmisen mielestä, vaan kyseessä on enemmänkin metodi tai instrumentti, jonka ihminen on luonut, mutta ei välttämättä ymmärrä. Näin mekanististen selitysten tekeminen episteemisen kannan mukaisesti on samalla ilmiön, että mekanismien tutkimista. Logismi taas katsoi, että loogisilla totuuksilla ei ole juuri tekemistä ihmisen oman psykologian ja mielentilojen kanssa. Kolmannen poissuljetun laki on laki juuri siksi, että maailma totisesti ei salli muuta vaihtoehtoa. Täten tehtiin logiikkaa sitten päässä, paperilla, tai tietokoneella, niin laki pätee sillä maailma makaa niin. Ontologinen kanta mekanismeissa on lähestulkoon täysin analoginen tälle. Mekanismit ovat päteviä selityksiä, sillä maailmassa on mekanismeja. (Illari 2013, 2 – 3).

¹⁰ Henkilökohtainen keskustelu.

Kuten mainittua, ontologinen kanta mekanistisissa selityksissä nojaa äärimmäisen vahvasti kausaaliseen selitykseen ja fysikaaliseen maailmankuvaan. Tämän takia monet ontologisen kannan edustajat eivät kovin mielellään sisällytä mekanistisiin selityksiin matemaattisia kaavoja, malleja, simulaatioita ja diagrammeja, sillä niille ei löydy ontologista vastinetta konkreettisesta maailmasta ja ne ovat luonteeltaan abstrakteja tai representationaalisia. Episteemisesti orientoituneille mekanististen selitysten tutkijoille ja tekijöille moinen asenne ei ole ongelma vaan etu (Illari 2013, 9). Toisaalta on mahdollista ajatella, että episteeminen kanta selittää tai rakentaa mekanistisia selityksiä asioista joita voidaan pitää olioina joita ontologisen kannan edustajat pitävät sekä selityksinä että mekanismeina. Toisaalta on myös asiallista kysyä, että onko mekanistisen selityksen tarjoama abstrakti mekanismi informaatioportti, josta ikään kuin vedetään tietoa todellisesta maailmasta, vai onko selityksen mekanismi informaatiota itse? Sikäli kun näin olisi, ontologisen ja episteemisen näkemyksen raja alkaa olemaan hyvin häilyvä. Asia tulee jokseenkin kriittiseksi mallien itsensä filosofiassa.

Mekanismit perustuvat ja edellyttävät kausaalisia prosesseja. Itse mekanismin käsite olisi mieleton, ellei oteta huomioon sitä, että mekanismit toisesta tekevät jotain. Mekanismit tuottavat ilmiöitä. Mekanismin kausaalinen aspekti on kuitenkin ongelmallinen johtuen niiden selityksellisestä monitasaisuudesta. Edellisissä alaluvuissa on mainittu useampaan otteeseen, että alin taso, jossa selitys on relevantti, määritellään kyllä ja sitä alemmille tasoille ei mekanistisessa selityksessä mennä, mutta tämä alhaalta ylös etenevä selitys laadullisesti korkeamman tason ilmiöille on kausaalisesti ongelmallinen. Lisäksi aineistolähtöinen alhaalta ylös -selitys ei ole ainoa tapa tehdä tiedettä. Usein tutkimus on teorialähtöistä tarkoittaen sitä, että on teoria ja siitä johdettuja hypoteeseja, joita lähdetään testaamaan tarkoituksena tukea teoriaa. Tämän kaltaisessa asetelmassa selityksellinen suunta on ylhäältä alas. Jos alemman tason mekanismit aktualisoivat korkeamman tason ilmiöt, niin kausaalisuuden suunnan tulisi olla sama.

William Bechtel ja Carl Craver (Bechtel ja Craver 2007, 1) argumentoivat, että filosofit ja tieteilijät usein puhuessaan ylhäältä alas tai alhaalta ylös -selityksistä, he eivät oikeastaan puhu kausaalisista relaatioista vaan mekanismien välittämistä efekteistä. Mekanismin välittämät efektit ovat hybridejä kausaalisista prosesseista ja konstitutiivisista yksiköistä. Tämä näkemys kuitenkin vaikuttaa enemmän koskevan systeemejä mekanismien sijaan. Systemi on siis se konstitutiivinen aparaatti, jossa mekanismi on taas prosessi ja mahdollisesti jopa monitoteutuva.

Mekanismien maailmassa osa tai prosessi X on alemmalla tasolla, kuin osa tai prosessi Y jos ja vain jos X on komponentti jollekin toiminnolle P, jota Y suorittaa. Osalla X ei ole siis kykyä toimintaan P, mutta osalla Y ei myöskään ole ilman osaa X. Mekanismin toiminta paljastuu dekompositiolla eli osiin hajottamisella. Täten mekanismin määrittely edellyttää rakenteellista dekompositiota, ja tämä dekompositio koskee systeemiä, ei itse mekanisme olkoonkin niin, että mekanismi määritellään tämän dekomposition perusteella. Näiden osien purkaminen vieläkin pienempiin osiin paljastaa taas uuden selitystason. Tätä voisi periaatteessa jatkaa empiirisen tiedon puitteissa niin kauan kuin haluaa, mutta se ei välttämättä palvele selityksellisiä intressejä. Biologiassa – etenkin solu-, kehitys-, evoluutio- ja molekyylibiologiassa on paljon ilmiöitä joissa on asiallista kysyä, voiko korkeamman tason ilmiöt vaikuttaa alemman tason ilmiöihin eli osiin ja prosesseihin? Tämän kaltaisessa ”takaisinsyötössä” ei ole mitään paranormaalista. Esimerkiksi ribosomi lopettaa proteiinisynteesin perustuen proteiinipitoisuuksiin solulimassa. Toisin sanoen se käyttää syötteenään omia vasteitaan (tämä myös monimutkaistaa selittämistä toisellakin tapaa, sillä usein mekanismeilla {etenkin korkean tason mekanismeilla} on useita tehtäviä. Esimerkiksi hiilidioksidi on seurausta kaasujenvaihdossa keuhkoissamme, mutta aivomme eivät mittaa happea verestä, vaan ne mittaavat hiilidioksidipitoisuutta, joka tarkoittaa sitä, että hapenpuutteen tunne on seurausta hiilidioksidista, ei hapen vähyydestä).

Mekanismeilla on kuitenkin eräs spatiaalinen ja temporaalinen piirre, jota on vaikea kiistää. Korkeamman tason mekanismi koostuu spatiaalisesti pienemmistä osista ja korkeamman tason prosessit vievät enemmän aikaa, kuin pienemmän tason prosessit. Tästä seuraa myös intuitio siitä, että pienemmät osat aktualisoivat suuremmat ilmiöt ja täten kausaalisuuden että selityksen suunta on alemmalta tasolta ylös. Datavetoisuuden vuoksi systeemibiologia on pitkälti alhaalta ylös -orientoitunut. (Bechtel ja Craver 2007, 2 – 4).

Toinen huomionarvoinen asia koskien mekanististen selitysten tasoja on kunkin tason lokaali, ei universaali luonne. Mekanistisissa selityksissä toki voidaan puhua atomien, molekyylien, solujen tasoista jne., mutta nämä näennäisesti yleisten tasojen esittäminen selityksessä on joko sattumaa tai käytännöllistä. Mekanistisissa selityksissä tasot ovat selityskohtaisia. Ei ole mitään metafyyssistä tai loogista syytä olla sisällyttämättä esimerkiksi viruksia ja yhteiskuntia toinen toiseen (esimerkiksi

pandemiat), vaikka tämän kaltainen selitys kielisi jokseenkin epätavallisesta ilmiöstä. Selitys itse määrittelee sen, millä tavalla eri tasot määritellään ja esitetään selityksen kannalta relevantisti ja jos niillä sattuu olemaan ontologiset vastinparit (solujen taso, atomien taso jne.), niin tämä on sattumaa vaikkakin toivottavaa. Bechtel ja Craver (Bechtel ja Craver 2007) huomauttavat, että kaikki korkeamman tason mekanismit ovat aina selitettävissä alemman tason mekanismeilla ja tämä jättäisi pois emergentit ilmiöt. Asia ei kuitenkaan ole näin yksinkertaisia, sillä emergentit ilmiöt eivät ole mekanistisesti selitettävissä, vaikka mekanismit voivat niitä aiheuttaa. Mekanistisia selitystasoja on kaikkialla, mutta emergentit, tai voimakkaasti emergentit ilmiöt, eivät ole palauttavissa mekanistisiin selityksiin, eivätkä näin suoraan koske kausaalisia ilmiöitä ainakaan ylhäältä alas. Emergenssiä ja holismia tulee siis tarkastella tarkemmin biologisissa ilmiöissä ja selityksissä. Tämä on kuitenkin järkevintä aloittaa tarkastelemalla tutkimuksen kohdetta, mekanismeja joka on vastuussa määrittelemättömästä ilmiöstä, mitkä ovat sen ominaisuudet ja miten itse mekanisme tulisi lähestyä. Koski mekanismi itsessään sitten mitokondriota tai junan höyrymoottoria.

Ei ole yllättävää, että selityksellä joka nojaa totuuden säilyttävään logiikkaan, voisi johtaa ihanteelliseen tilanteeseen, jossa on yksi selitysmalli johon kaikki korkeamman tason selitykset nojautuisivat. Tämä olisi tietynlainen tieteenfilosofinen Graalin Malja. Joskin tiede itsessään kehittyi ilman teorioita tieteellisistä selityksistä ja pian huomattiin, että asetelma, jossa alkutilat maustettuina yleisillä laeilla johtaisi automaattisesti ikuisiin totuuksiin, ei päde lukuisissa uusissa tieteissä. Mekanistiset selitykset olivat juuri ongelmallisimmat. Niillä ei ole varsinaista alkua, joihin soveltaa universaaleja lakeja ja lopputulokset ovat jokseenkin ennustamattomissa. Selityssuunnat myös muuttuivat. Ennen ajateltiin, että alkutila (partikulaariset faktat) ja muutamat lait tuottaisivat aina tietyn tuloksen, mutta moni uusi tiede ja näiden mukana tulleet tieteelliset selitykset olivat kiinnostuneita alkutilanteiden ja universaalien (tai statististen) lakien johtamien tuotosten sijaan selityksen ja/tai ilmiön sisäisistä mekanismeista, niiden funktioista ja ennen kaikkea lopputuloksista. Ei niinkään alkutiloista ja välttämättömistä laeista. Mekanistinen selitys tarjoaa jokseenkin oivan ratkaisun edellisiin selityksellisiin ongelmiin, joilta odotetaan alku sekä loppu. Mekanististen selitysten suurin ongelma (edellisen lisäksi) on kuitenkin se, että mekanistisista selityksistä puhuttaessa on usein vaikeaa, ellei jopa mahdotonta, erottaa, koskeeko keskustelua konkreettista mekanismia (kuten puhelinta) vai mekanistista selitystä (esimerkiksi puhelimesta).

4 Biologiset systeemit ja mekanistiset selitykset

Edellisessä luvussa tarkastelin mekanismeja monenlaisista aspekteista, mutta toistaiseksi lienee parhainta sivuuttaa keskustelu mekanististen selityksen luonteesta ja keskittyä toviksi itse mekanismeihin ilmiöinä ja/tai kohteina. Katson tarpeelliseksi tutkia mekanismeja siis ilmiöinä, joita selittää, en selityksinä jotka kuuluisivat johonkin edellisiin tieteellisten selitysten malleihin tai luokkiin (kuten peittävän lain malleihin). Kun mekanismeja tarkastellaan itse oliona, ovat ne hyvin lähellä sitä, mitä haen takaa myöhemmin tässä tekstissä kirjoittaessani systeemeistä ja malleista. Mekanismi tarkoittaa monia asioita, mutta tieteenfilosofiassa mekanistinen ajattelu on enemmänkin orientaatio kuin teoria, näkemys tai kanta. Pikemminkin tapa tarkastella maailmaa ja tehdä siitä tutkimusta. Myöhemmin systeemiteoria voimisti tätä orientaatiota, mutta siihen palataan tuonnempana.¹¹ Katson tarpeelliseksi määritellä mekanismi tieteen tutkimuksen kohteeksi, ennen kuin sitä aletaan soveltamaan tämän tekstin kannalta relevantteihin tekijöihin, kuten mallintamiseen systeemibiologiassa ja sitä kautta tieteellisen selityksen luonteeseen mekanistisissa malleissa. Mekanismi voi toimia selityksenä, ennustuksena, mallina tai esimerkiksi synteettisessä biologiassa tutkimuspyrkimyksenä.

4.1 Mekanismit tutkimuksen kohteina

Mekanistiset selitykset ovat saaneet nimityksensä ajatuksesta siitä, että selitysmalli selittää samalla tavalla käyttäytymistä tai ilmiötä, miten ihmiset kuvailisivat jonkin teknologisen tuotteen, kuten koneen, toimintaa perustuen sen osiin ja niiden osien yksittäiseen toimintaan itse selitettävässä systeemissä (tai koko makromekanismissa). Selitettävä ilmiö on siis mekanismin käyttäytymistä ja käyttäytymisen ymmärtäminen edellyttää mekanismin ja sen osien tuntemista. Ilmiö jota ollaan selittämässä, on siis se makromekanismi tai systeemi, jonka toiminta perustuu näihin mekanistisiin selityksiin tai kuvauksiin. Motiivi mekanistisille selityksille perustuu siihen, että loppujen lopuksi hyvin harva ilmiö, etenkin biologiassa, on lineaarinen. Lineaarisuudella tarkoitetaan sitä, että ilmiöstä vastaava systeemi siirtyy lineaarisesti tilasta toiseen ja ilmiön selitys perustuen lineaariseen systeemiin on kausaalisesti triviaali. Tästä kausaalisesta triviaalisuudesta seuraa myös se, että lineaarisella systeemillä ja selityksellä on alku ja lopputila. Mekanismit eivät sen sijaan juuri ala tai loppu mistään. (Bechtel et al., 2010, 17 – 18).

¹¹ Systeemiteoriaa voidaan tämän tekstin kannalta pitää näkemyksenä, jossa kaikki mielletään systeemeiksi ilmiöinä, joita selittää sen sijaan että selitys tai ilmiö tulkittaisiin systeemiksi jonkin selityksellisen preferenssin tai pragmatiikan valossa.

Jos tarkasteltava makromekanismi, systeemi, tai ilmiö puretaan osiin ja näiden osien toimintaa tarkastellaan itsenäisesti ja makromekanismi uudelleen rakennetaan perustuen tietoon sen osien toiminnasta, kutsutaan mekanismien määrittelyä analyyttiseksi (tietynlaista käänteistä insinööriikkaa {engl. reverse engineering}). Tilannetta voisi havainnollistaa siten, että tutkija löytää moottorisahan ja käänteisellä insinööriikalla havainnoi sen toiminnan perustuen sen osien purkamiseen ja näiden osien funktioiden selvittämiseen itse makrosysteemissä, joka tässä esimerkissä on siis moottorisaha. Systeemin osien toimintaa siis analysoidaan suhteessa systeemin käyttäytymiseen. Analyyttinen mekanismin määrittely kulkee siis ylhäältä alas (tämä on tärkeä kanta, johon palataan luvussa 6.). Toinen tapa määrittellä mekanismi on miettiä sitä, miten systeemin käyttäytyminen olisi selitettävissä alisysteemeillä, hypoteettisesti esittää nämä alisysteemit ja lähteä konkreettisesti etsimään hypoteettisia alisysteemejä (perinteisempi tapa tehdä tiedettä tuntemattomille ilmiöille). Tätä mekanismin määrittelyä kutsutaan synteettiseksi määrittelyksi ja tämä määrittely on muotoa alhaalta ylös. Analyyttinen määrittely tarjoaa empiiristä dataa, missä taas synteettinen määrittely tarjoaa teoreettisen viitekehysten, jossa tarkastella ilmiöitä ja siitä vastaavia osia. Nämä ovat siis lopputiloja, sitä mitä ne tarjoavat. Alkutilat ovat päinvastaiset. (Bechtel et al., 2010, 18 – 20).

Kuten aikaisemmin mainittua, elämäntieteet ja etenkin biologia ovat tarjonneet tai jopa pakottaneet erilaista asennetta tiedettä kohti. Lait eivät enää päde Hempelin ehtojen mukaisesti, toiminta ei ole lineaarista, systeemin avoimuus tulee määrittellä jne. Unelma fundamentaalisesta tieteellisestä selittämisestä alkaa vesittyä siirtyessä biologiaan. Biologia ei ole pelkästään tiede, johon mekanistiset selitykset ja myöhemmin esiteltävä systeemiteoria sopii, vaan se suorastaan edellyttää niitä. Tiede pitkään pyrki (jopa biologian saralla) löytämään yleistettyjä säännönmukaisuuksia, jotka toimivat selityksen funktioina ja aktualisoituivat tyypillisesti lakeina suhteessa empiiriseen dataan, jotka esitettiin verbaalisesti väitelauseina tai pikemminkin lakien oikeuttamina argumentteina. Toisin sanoen biologiaakin yritettiin tunkea näkemykseen fundamentaalisesta tieteestä, joka on siis fysiikka. Biologia – etenkin solu- ja molekyylibiologia – eivät ainakaan proksimaalisessa (välittömässä) tarkastelussa toteuta näitä ehtoja ja täten tarvittiin uusi katsontakanta, jos ei empiirisessä solubiologiassa niin tieteenfilosofiassa, jolla tutkia näitä ilmiöitä. Suurien yleistysten ja lakien postuloimisen sijaan solu- molekyyli- ja myöhemmin systeemibiologia tarjoavat vain tarkempia monitasoisia mallinnuksia siitä, miten tietyt prosessit tapahtuvat hyvin vaihtelevissa ympäristöissä. Ensimmäisessä luvussa puhuttiin essentialismista. Systeemiteoria jollakin houkuttaa essentialistista kantaa reduktionismin sijaan. Systeemi ei ole systeemi, jos se hajotetaan osiin ja/tai irrotetaan kontekstistaan (Larry Wright ja mereologinen emergenssi).

Lähtökohtainen ongelma oli erottaa insinööriikka biokemiallisista mekanismeista. Insinööriikan mekanismeille on aina esimääriteltä paikka funktiolle (suunnittelijan rooli, kuten asentajan päätös renkaan sijoittamiseen autoon), mutta biologiset mekanismit hyvin pitkälti pyrkivät pitämään yllä omaa tilaansa ja tämä onnistuu suorittamalla funktiota, jotka ovat niiden spatiaalisen position ja ympäristön asettamat (suunnittelijan sijaan). Biologisilla mekanismeilla ja systeemeillä ei ole suunnittelijaa.¹² Biologiset mekanismit ovat äärimmäisen monimutkaisia ja samat komponentit suorittavat lukuisia eri funktioita. Tämä on myös yksi merkittävä ero insinöörien suunnittelemissa koneilla suhteessa biologisiin koneisiin, sillä esimerkiksi autossa on hyvin vähän osia, jotka suorittavat muuta kuin yhtä funktiota. Tämän vuoksi lienee paikallaan esitellä muutama käsite koskien mekanismeja. Lähentyäkseen mekanistisen selityksen rakentamista, tieteenfilosofit joutuvat ensiksi määrittelemään konkreettiset osat että operaatioita suorittavat tekijät, jotka eivät välttämättä ole edes fysikaalisia osia. Dekompositio tarkoittaa selityksellisen tehtävän jakamista osiin (perustuen konkreettisiin osiin tai funktionaalisiin rooleihin), jotta monimutkainen (ei-lineaarinen) systeemi tulee helpommin käsiteltäväksi ja selityksellisestä tehtävästä tulee helpompi. Dekompositio edellyttää, että systeemin käytös perustuu puhtaasti sen sisäisiin osiin tai alisysteemeihin ja nämä alisysteemit ovat keskenään minimaalisesti vuorovaikutuksessa, eli tutkija olettaa osan suorittavan vain tiettyä funktiota.¹³ Tällä tarkoitetaan sitä, että osien keskinäinen vuorovaikutus ei rakenna omia kompleksisia systeemejä. Riippumatta siitä pitääkö oletus paikkaansa vai ei, dekompositio on hyvä heuristiikka, sillä systeemin tutkijat harvemmin tietävät systeemin sisäisestä organisaatiosta mitään. Insinöörit sen sijaan tietävät. Lokalisaatiolla tarkoitetaan eri funktioiden postuloimista dekomposition aikana ilmenneille osille tai alisysteemeille. Funktioiden selvittämiseksi voidaan käyttää esimerkiksi analyttistä määrittelymetodia. Lokalisaatiolle ongelmallista etenkin biologisissa systeemeissä on osien tai alisysteemien monet samanaikaiset roolit. Biologisissa systeemeissä on melko harvinaista, että yksi osa tai tekijä, kuten entsyymi vastaisi vain yhdestä prosessista tai funktiosta puhumattakaan genetiikasta. (Bechtel et al., 2010, 23 – 25).

Komposiittisysteemejä, eli osista koostuvia systeemejä on kahdenlaisia perustuen siihen, mikä merkitys osien keskinäisellä organisaatiolla on itse systeemille. Komponenttisysteemeissä osien tai alisysteemien käyttäytyminen tai funktio on määriteltävissä niistä itsestään. Systeemin osien funktio

¹² Tässä luvussa käytän vielä systeemiä ja mekanismia jokseenkin synonyymeina, mutta tulen erottamaan ne ja selvittämään niiden välisiä eroja myöhemmissä luvuissa.

¹³ Tämä ei pidä paikkaansa, mutta se on heuristinen metodi lähestyä mekanismin tuntemusta.

on määriteltävissä eristettyinä muista osista, vaikka kokonaisessa systeemissä niiden välillä olisikin vuorovaikutusta. Integroitunut systeemi taas toimii holistisesti siten, että osien toiminta riippuu suoraan siitä, miten ne vuorovaikuttavat toisten osien kanssa. Näin niitä ei voida tutkia eristettyinä muista osista tai alisysteemeistä. Integroituneissa systeemeissä on takaisinsyöttöjä (engl. feedback loop) yms. funktioita, joissa systeemin kokonaistila syötetään takaisin osien prosessoitavaksi ja tätä kausaalista ketjua ei voida tutkimuksen mielessä katkaista, sillä systeemin toiminta ja täten systeemin selitys tai edes kuvaus käy mahdottomaksi. Yksinkertaisemmin sanottuna, mekanismi ei ole lineaarinen (Bechtel et al., 2010, 26). Esimerkki tämän kaltaisesta systeemistä on kortisoli-adrenaliinisysteemi ihmisessä ja esimerkiksi mitokondrio solussa tai ribosomin proteiinisynteesin säätely, jossa siis ribosomi tuottaa tiettyä proteiinia ja lopettaa sen tuottamisen perustuen kyseisen proteiinin esiintymiseen. Toisin sanoen ribosomi tuottaessaan tiettyä proteiinia käyttää samaa proteiinia syötteenään määritelläkseen sen, milloin lopettaa vastaanottamasta informaatiota syntetisoida lisää tätä proteiinia (virukset ohittavat tämän systeemin samoin, kuten syöpäsolut epäonnistuvat apoptoosissa, eli sisäohjelmoidussa solukuolemassa ja jatkavat jakautumistaan). Vaikka mekanismi, sen osat ja osien funktionaaliset roolit, olisivat miten tarkasti määriteltyjä ja eristettyjä, mekanismi, jota tarkastellaan, on aina avoin suljetun sijaan. Tämä erottaa biologiset mekanismit ihmisten luomista insinöörikan tuotteista, kuten autoista tai tietokoneista. (Bechtel et al. 2010, 26).

Toisaalta ymmärtääkseen biologisten mekanismien toimintaa, biologit joutuvat redusoimaan mekanismien komponentteja saadakseen niistä selvyttä. Tämän hinta tosin on hävittää tiettyjä essentiaalisia funktioita, joita sama mekanismi tuottaa, ja pahimmillaan luoda artefakteja, eli keinotekoisia ilmiöitä, jotka eivät olisi läsnä biologisessa systeemissä sen ”normaalitilassa” tai ”luonnontilassa”.¹⁴ Kun systeemin osien tai alisysteemien keskinäistä vuorovaikutusta tarkastellaan, niin tätä katsontakantaa kutsutaan horisontaaliseksi. Kun taas katsontakanta koskee osien tai alisysteemien yhtymistä yhdeksi korkeamman tason systeemiksi, kutsutaan sitä vertikaaliseksi. Tätä rakennelmaa kutsutaan systeemin tarkastelun hierarkiaksi (Bechtel et al. 2010, 27 – 28). Tarkastelun hierarkia on tärkeää tutkimuksen kannalta selityksellisen ekonomian vuoksi. Jos esimerkiksi tutkijat ovat tarkastelemassa, määrittelemässä ja selittämässä proteiinisynteesiä, niin kvanttimekaniikan mukaan ottaminen (vertikaalisen tarkastelun laajentaminen) on ilmiön kannalta irrelevanttia, vaikka kvanttimekaniikka ei itsessään katoa minnekään.

¹⁴ Artefakteja ilmenee aina, mutta ne ovat ongelmallisia, jos erehdytään pitämään niitä luonnollisina ilmiöinä tai asioina.

William Bechtel (2006) esittää, että selitykselliset päämäärät tieteessä ovat hyvin pitkälti keskittyneet etsimään lakeja, joilla kattaa periaatteessa ääretön määrä instansseja yhdellä kerralla (Bechtel tarkoittaa klassisia selitysmalleja, kuten peittävän lain malleja), mutta biologisissa selityksissä moiset lait ovat saavuttamattomissa tai vähintään keinotekoisia. Ne eivät onnistu selittämään koko holistista systeemiä (tai makromekanismia eli selitettävää ilmiötä kaikkine sen toteuttamisesta vastaavien alimekanismien lisäksi), vaan osia siitä tietyissä instansseissa. Bechtel kutsuukin tätä prosessia ”tehtäväksi” sen sijaan että etsittäisiin yhtä ja oikeaa vastausta (lakia), joka kestäisi ajasta ikuisuuteen. Tämä ”tehtävä” on Bechtelin mukaan mekanismin tunnistaminen. Mekanismin kuvaus toimii näin selityksenä nojaamatta lakeihin tai universaaleihin. Bechtel katsoo, että biologia muutti merkittävästi tieteellisen selityksen luonnetta. 1940-luvulla (johtuen lähinnä teknologisesta kehityksestä) varsinainen solubiologia kehittyi, biologia joka tutki solun toiminnasta vastaavien osien toimintaa verrattuna sytologiaan, joka tutki soluja sellaisinaan – elementaarisina yksikköinä. Solujen sisäinen mekanismi tuli siis selittää tavalla, joka ei noudattanut mitään perinteistä ajatusta ”toimivuudesta” lainattuna vanhanaikaisesta fysiologiasta, insinööriikassa ja fysiikasta, joita pidettiin fundamentaalisina tieteinä tai tieteen arkkityypeinä. Tutkimusmetodi (joskin laitteet, tekniikat ym. muuttuivat) eivät periaatteessa muuttunut, mutta selitettävien mekanismien määrä oli valtava ja kaiken lisäksi monet vastuussa olevan mekanismit suorittivat lukuisia eri funktioita. Yleistettävien lakien löytäminen kävi jokseenkin mahdottomaksi tilanteessa, jossa sama systeemi tai mekanismi tuottaa monia muita essentiaalisia prosesseja. Sydän ei pelkästään pumpkaa verta, se pitää esimerkiksi ääntä. Jos sydäntä haluaa tarkastella äänentuotantosysteeminä, niin sen mekanistinen kuvaus ja selitys ovat hyvin erilainen verenkiertojärjestelmää ylläpitävän systeemin selityksestä, vaikka funktiosta vastaava systeemi on sama. Sydämen äänentuotto ei välttämättä ole essentiaalinen biologian kannalta, mutta mekanistinen tarkastelukanta ei tee erottelua tämän kanssa. Tämä biologinen funktionaalinen rooli on toki kyseenalaistettavissa, mutta harvapa kieltää, että näin on. Kaiken kaikkiaan 1940 – 1970-luvuilla kehittynyt solubiologia erosi siinä sytologiasta ja biokemiasta, että solubiologia tutki solun itsensä toiminnan vastaavista toiminnoista – nimekseen soluelimistä. Sytologia tutki soluja verkostoituneina entiteetteinä (kuten kudoksina) ja biokemia erinäisiä prosesseja ”merkata” toimijoita tai ilmiöitä, mikä oli perinnettä kudovärjäyksestä valomikroskooppia varten (Bechtel 2006, 13 -14).

Tutkimuksessa systeemi irrotetaan kontekstistaan, joten tutkijoille jää tehtäväksi osoittaa juuri se kontekstista riippumaton osa tai alisysteemi, joka on ensisijaisesti vastuussa siitä käyttäytymisestä,

funktiosta tai ilmiöstä, jota ollaan selittämässä. Tätä osaa tai systeemiä, joka on ensisijaisessa asemassa tutkimuksen kohteen ilmenemisestä, kutsutaan kontrollin lokukseksi. Tekijäksi tai mekanismin osaksi, joka on vastuussa operaatiosta. Usein koneissa ja etenkin biologiassa systeemit eivät ole eristettyjä siten, että ne toimisivat autonomisesti kontekstista irrotettuna. Tätä ongelmaa lähestytään mekanistisessa selityksessä aikaisemmin esitettyjen analyyttisten ja synteettisten määrittelymetodien, että hierarkkisten tarkastelukantojen mukaisesti. (Bechtel et al., 2010, 39 – 41).

Bechtel määrittelee mekanismin (ei siis mekanistisen selityksen vaan mekanismin, joka on selityksen kohteena) seuraavan laisesti:

Mekanismi on rakennelma (osista koostuva), joka suorittaa funktiota sen osien ansiosta perustuen niiden temporaaliseen ja spatiaaliseen asetelmaan, yksinäiseen funktioon suhteessa ympäristöönsä, ja organisaatioon johon ne ovat syystä tai toisesta asettautuneet.. Niiden organisaatio ja kollektiivinen funktio toteuttaa yhtä tai toista ilmiötä, joka on tieteellisen selityksen kohteena mekanistisissa selityksissä.

Tässä lienee lukijan viimeistään pitää mielessä, että nyt puhutaan mekanismeista, eikä mekanistisista selityksistä. Bechtel lisää, että:

- Jokaisen mekanismin komponentin tulee toimia aktiivisena tekijänä, joka muuttaa tai ylläpitää jonkin toisen osan operaatiota ja näin on eroteltavissa passiivinen ja aktiivinen komponentti. Passiivinen komponentti muuttuu tai syntyy aktiivisen vaikutuksesta.
- Mekanismissa voi olla monitasoisia hierarkioita.
- Mekanismit voivat osien funktioiden lisäksi organisoitua puhtaasti temporaalisesti. Tyypillisesti osalla voi olla useampi kuin yksi funktio, jonka aktualisaatio voi olla moniulotteinen.
- Mekanismit ovat dynaamisia (eli temporaalisesti muuttuvia).

Bechtel (2006) uskoo, että mekanismit selittävät ilmiön lakien tms. nomologisten tai perinteisten mallien sijaan. Mekanismien koko määritelmä perustuu puhtaasti siihen ilmiöön, mitä ne aktualisoivat, oli tämä ilmiö miten yksinkertainen tai monimutkainen tahansa. Bechtel tarkoittaa, että data ei selitä ilmiötä, vaan selityksestä luodaan dataa, jota testataan. Mekanismeja ei löydetä sinänsä, vaan niitä määritellään luonnosta, luodaan mentaalisesti ja testataan esimerkiksi tietokonesimulaatioilla (Bechtel 2006, 27). On tärkeä ymmärtää, että tieteellinen mekanismin määritelmä on vain episteeminen versio ontologisesta ilmiöstä. Joskin episteeminen määritelmä tiettyjen ehtojen ja rajojen avulla voi olla ilmaisuvoimaisempi, kuin se ontologinen prosessi, jota se representoi. Mekanistinen selitys voidaan rakentaa synteettisesti että analyttisesti. Oli miten oli, lopputulos, eli selitys, kuvaus ja myöhemmin esitettävät mallit jäävät kuitenkin enemmän tai vähemmän episteemiselle areenalle.

Bechtel tekee erottelun mekanismien komponenttien osien ja operaatioiden välillä. Komponenttiosat ovat osia joista itse mekanismi koostuu, kun taas komponenttioperaatiot ovat niitä funktioita, jotka ovat vastuussa siitä pääfunktioista, josta tarkasteltava ilmiö aktualisoituu. Osilla on funktionaaliset roolit, mutta eristetty osa itsessään ei välttämättä vastaa juuri siitä funktionaalista roolista, joka on selitettävän ilmiön kannalta olennainen. Osat itsessään eivät ole mekanistisen tarkastelun kannalta tärkeimmässä roolissa, sillä ne suorittavat monia muita tarkasteltavan mekanismin kannalta irrelevanteja funktioita (kuten sydän pitää ääntä). Komponenttien oma luonne esimerkiksi fysikaalisina osina on toissijaista. Komponenttiosat ovat mekanismissa läsnä, mutta eivät itse vastuussa tarkasteltavasta ilmiöstä sinänsä, kun taas komponenttien funktiot ovat vastuussa aktiivisesti ilmiön ilmenemisen kannalta (Bechtel 2006, 30). Saman funktion voi toteuttaa moni erilainen osa ja täten selitettävä ilmiö tai systeemi nauttii jonkinasteista monitoteutuvuutta Hilary Putnamin jalanjäljissä. Lisäksi funktionaalisten osien organisaatio on tärkeä, sillä tarkasteltavat ilmiöt ovat tyypillisesti avoimia systeemejä ja tarvitsevat energiaa ja tuottavat jätettä. Energian saannin kannalta systeemin avoimuus (verrattuna suljettuun systeemiin) on välttämätöntä. Biologisissa systeemeissä tämä toteutuu tyypillisesti ns. kontrollisysteemien kautta (näistä lisää tuonnempana). Lyhyesti ilmaistuna kontrollisysteemit ovat funktionaalisia osia, joiden toiminta määrittelee toisten systeemien toimintaa (ne kontrolloivat jotakin toista funktiota) ja täten biologiset mekanismit ovat erikoisessa roolissa mekanistisessa tarkastelussa, mallintamisessa ja selittämisessä (Bechtel 2006, 32).

Bechtel ei jaa Wesley Salmonin jaottelua mekanismeista ontologisiin ja epistemologisiin. Vaikka mekanismit ovat luonnossa (ja mielessä) esiintyviä aktuaalisia entiteettejä, niin mekanistinen selitys on aina episteeminen akti (Bechtel 2006, 33). Bechtel tarjoaa yksinkertaisena esimerkkinä mekanismien episteemisestä aspektista sitä, että mekanismit esimerkiksi aiotumallisissa soluissa ovat olleet olemassa kauan ennen, kuin kukaan oli antanut niistä minkäänlaista selitystä tai kuvausta. Mekanismit ikään kuin odotti kuvaajaansa. Bechtel kuitenkin painottaa, että mekanismit itsessään (ontologisina entiteetteinä) eivät ole selityksiä, vaan selitys edellyttää selittäjän ja selitys on näin inferentiaalinen että episteeminen. Toiseksi esimerkiksi Bechtel esittää, että maailmassa on vääriä mekanistisia selityksiä, jotka silti toimivat itsenäisinä episteemisinä entiteetteinä. Tähän palataan luvussa 5. koskien ns. selityksellisiä mutanteja. Maakeskeinen mekanistinen selitys aurinkokunnasta on validi mekanistinen selitys, joskin väärä, sikäli kun aurinkokunta on heliosentrinen. Lisäksi monet abstraktit ja ideaalimallit ovat luonteeltaan ”luonnottomia”, vaikkakin selityksellisesti toimivia ja jopa ymmärrystä lisääviä. Mitä mekanististen selitysten lakeihin nojaaviin verbaalisten selitysten ongelmiin vielä tulee, mekanismit tyypillisesti esitetään graafisina malleina. On tärkeää ymmärtää mekanismin osien (ja niiden operaatioiden) spatiaalinen sijainti ja täten mekanismin funktion järjestys, sillä se ei läheskään aina ole lineaarinen. Mekanismien funktiot edellyttävät selityksessä vielä temporaalista dimensiota ja tämä voidaan representoida esimerkiksi nuolilla, jotka osoittavat eri osien funktioiden tuotteiden siirtymisen seuraavaan osaan käsiteltäviksi. On vaikea kuvitella, miten verbaalinen yleisiin lakeihin nojaava selitys tästä olisi edes mahdollista. Mekanististen selitysten presentointi onkin lähes poikkeuksetta mallin luomista – tietynlaista mentaalisen systeemin rakentamista. Kolmanneksi monet mekanismit käyttävät omia syötteitään vasteinaan ja käyttäytyvät täten oskilloivasti. Toisin kuin lineaarisilla selityksillä, takaisinsyöttöominaisuus on mahdoton esittää tieteellisenä selittämisenä ilman dynaamisen systeemin ominaisuuksia ja täten tarvitaankin usein joko graafia tai aktiivista simulaatiota. Mekanististen selitysten käytössä nykytieteessä systeemiteoria ja simulaatio (ja mallien rakentaminen) ovatkin merkittävässä roolissa. (Bechtel 2006, 38 – 39).

Mekanismeja tutkiessa tyypillisesti ajatellaan, että itse päämekanismi suorittaa jotakin funktiota ja tämä päämekanismi koostuu alimekanismeista, jotka toteuttavat ne monimutkaiset operaatiot, jotka ilmenevät kokonaisvaltaisesti päämekanismin toiminnassa. Täten mekanistisia selityksiä on jokseenkin pidetty reduktionistisina. Päämekanismi siis redusoitaisiin alimekanismeihin, jotta osat

ja niiden operaatiot tunnistettaisiin. William Bechtel kuitenkin huomauttaa, että reduktionismi mekanismien (ja etenkin biologian) kontekstissa tarkoittaa eri asiaa, kuin perinteinen tieteenfilosofia sen mieltää. On huomioitava, että mekanismit toimivat vain ja ainoastaan kontekstissa eli ympäristössä, jossa ne ilmenevät. Tätä kutsuttiin aikaisemmissa kappaleissa mereologiseksi emergentismiksi. Täten mekanismin reduktion tuotteet ovat yhteydessä suoraan siihen ympäristöön, jossa ne ovat tai johon ne sijoitetaan (Bechtel 2006, 41). Bechtel myös huomauttaa, että vaikka tieteessä puhutaan usein tasoista (ja tieteenfilosofiassa selityksen tasoista), niin tämä ei ole mekanistisissa selityksissä varsinaisesti mielekäästä, sillä esimerkiksi kemiallisten reaktioiden selittäminen eri substansseilla ei poissulje esimerkiksi elektroneja, kvarkkeja jne. Täten mekanistinen selitys eri tasojen välillä vaihtelee selityksen luonteen mukaisesti, eikä reduktiolla tarkoiteta tason redusoimista, vaan päämekanismin (tarkasteltavan ilmiön) komponenttien tunnistamista ja operaatioiden määrittelemistä tavalla, joka tyydyttää päämekanismin selityksen, joka on kulloinkin ”selitystehtävä”. Perinteisen filosofisen reduktion kanssa tulee ottaa huomioon, että kaikki redusoitavan ilmiön sisältämä data tulisi olla osissa. Mekanismin tapauksessa näin ei ole. Mekanismin (esimerkiksi biologisen) rekonstruoiminen alemman tason (osien ja operaatioiden) datasta on selityksellisesti riittämätön, sillä mekanismit ovat avoimia systeemejä ja täten niiden makro- että mikrotason osat ja prosessit ovat riippuvaisia toisistaan että siitä kontekstista, jossa mekanismi itse on (Bechtel 2006, 43). Esimerkiksi ripsieläimiin kuuluva yksisolainen *paramecium* (tohvelieläin) voi ympäristön olosuhteiden muuttuessa vaihtaa petoeläinroolinsa (tohvelieläin tyypillisesti ”saalistaa” bakteereja ja muita pienempiä yksisoluisia eliöitä) yhteyttämiseen eli fotosynteesiin. Kyseisen ilmiön mekanismin osat ovat toki itse tohvelieläimessä (sisäinen ympäristö), mutta ilmiön selittäminen eristettynä systeeminä ei varsinaisesti selitä mitään, sillä mekanismi on rakentunut kontekstiin (ulkoinen ympäristö). Täten reduktio on epämieliekäs tapa määrittellä osien, niiden funktioiden ja organisaation (myös temporaalisen) asemaa.

Termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan epäjärjestyksen tulisi kasvaa ajan kuluessa ja termodynaaminen tasapaino saavutetaan, kun (suljettu) systeemi on täysin epäjärjestelmällisessä tilassa. Biologiset systeemit ovat arkkityyppisiä systeemeistä, jotka vastustavat entropiaa ja elämä on määritelty (Schrödinger 1944) kyvyksi vastustaa entropiaa. Biologiset systeemit ovat hyvin monimutkaisia ja ylläpitääkseen organisaationsa, tulee niiden kyetä vastustamaan entropiaa hyvin paljon ja olla samanaikaisesti tarpeeksi herkkiä reagoimaan erilaisille muutoksille – toivotuille ja epätoivotuille. William Bechtelin mukaan tämä on mahdollista niinkin yksinkertaisen ominaisuuden

seurauksesta, että biologiset systeemit (ja täten mekanismit) eivät ole suljettuja systeemejä. Ne saavat energiaa, kuluttavat sitä ja tuottavat jätettä. Tämä ulkopuolisen energian saanti mahdollistaa biologisen systeemin ylläpitämään itse omaa organisaatiotaan, mutta tämä vaatii myös äärimmäisen tehokkaita kontrollisysteemejä. Täten ei myöskään ole yllättävää, että biologiset systeemit yksisoluisista ihmisen aivoihin vaativat suuria määriä erilaisia energian lähteitä ja kontrollisysteemejä. Toisin kuin ihmisen luomat insinöörikan tuotteet, biologiset organismit eivät sinänsä voi luottaa ulkopuoliseen korjaukseen, joten tämä ominaisuus on oltava integroituna itse systeemiin matalimmalta tasolta aina korkeimmalle. Moiset ominaisuudet mekanististen selitysten kannalta edellyttää systeemiteoriaa, simulaatiota ja ylipäättään erilaista tieteenfilosofiaa, mihin perinteisissä tieteissä, kuten fysiikassa on totuttu. (Bechtel 2006, 50 – 53).

4.1.1 Löydöistä selityksiksi

Mitä selityksiin tulee, niin ennen kun voidaan tarkastella biologisia prosesseja ja niistä vastaavia tekijöitä, lienee paikallaan tutustua pienimuotoisesti solu- molekyyli- ja systeemibiologian kehitykseen tarkemmin tutkimusmenetelmien kehityksen tuoman uuden empiirisen datan valossa. Bioinformatiikka ja sen vaikutus metodologiaan tulee tuonnempana tarkemmin, joten analysoitavaan aineistoon (dataan) palataan tuonnempana, mutta ensiksi on syytä esittää lyhyt kronologinen jäsenitys siitä, miten päästiin soluista ja esitumallisista molekyyliin ja niiden välisiin prosesseihin joita mekanistisesti käsitellään systeemeinä. Systeemejä selitetään mekanistisesti ja niitä mallinnetaan lukuisilla tavoilla eri tarkoituksia varten. Kuten mainittua, olen tarkastellut systeemejä ja mekanismeja jokseenkin synonyymeinä, mutta jos välttämättä tässä kohtaa tekstiä haluaa tehdä erottelun näiden välille, niin katson että mekanismi on prosessi ja systeemi on aparaatti, jossa tämä prosessi aktualisoituu. Lait toki ovat olemassa selityksissä, mutta ne eivät palvele biologisen selityksen intressejä. Katson, että lakien sijaan biotieteissä ja biotieteiden selityksissä on hedelmällisempää hylätä lait ja tarkastella erilaisia mahdollisuuksien avaruuksia ja niiden dimensioissa ilmeneviä modaalisia ominaisuuksia kuten mahdollisuuksia ja välttämättömyyksiä. Edellistä voi pitää jonkinlaisena instrumentalistisena mahdollisten maailmojen semantiikkana, mutta itse kutsun sitä modaaliseksi kannaksi. Systeemi ollessaan aparaatti, on modaalisesti rajattu mahdollisuuksien ja välttämättömyyksien kautta toimimaan tietyllä tavalla tietyissä tilanteissa. Ionipumpulla on mahdollisuus käyttää ATP-molekyyliä vaihtaakseen ionia ja muuttaa neuronin pintajännitettä, mutta se on välttämättömyys, jos tekijät ovat läsnä ja tämä välttämättömyys perustuu sen itsensä rakenteeseen.

Biologiassa tässä kontekstissa tarkoitetaan erityistiedettä, joka tutkii eläviä tai elämää toteuttavia ja ylläpitäviä organismeja. Organismit taas voidaan mieltää systeemeiksi, jotka ylläpitävät itseään, käyttävät energiaa ja lisääntyvät tavalla tai toisella kyetäkseen olosuhteiden antaessa suorittamaan sitä funktiota, jota sen on tarkoitus suorittaa. Modaalisesta aspektista tarkasteltuna voisi yksinkertaistaa, että biologisella systeemillä ei ole muuta vaihtoehtoa, kuin suorittaa funktioitansa, kuten uudelleenorganisointumista, jakautumista jne., tai tuhoutua. Englanniksi voisi perin tutun tieteenfilosofisten julkaisujen lentävän lauseen muuttaa muotoon ”process or perish”. Auton vaihdelaatikko on toki systeemi, mutta se ei ylläpidä itseään lyhyellä tai pitkällä tähtäimellä. Ihmisten luomat systeemit tyypillisesti tarvitsevat varaosia tai korjausta. Biologiset systeemit ylläpitävät itse itseään ja ovat täten systeemiperspektiivistä äärimmäisen monimutkaisia. Näitä ylläpitäviä, lisääntyviä ja energiaa käyttäviä ominaisuuksia omaavalla systeemillä on tyypillisesti ”elävän” status ja täten biologia siis tutkii eläviä asioita. 1944 Erwin Schrödinger esitti tekstissään ”What is life?”, että kaikki elävä on jotakin sellaista, mikä vastustaa entropiaa – toisin sanoen ylläpitävät omaa tilaansa aktiivisesti oli ne miten yksinkertaisia tai monimutkaisia hyvänsä.

Biologian tarkastelemat elävät organismit ovat konkreettisessa maailmassa ja täten altistuvat fysiikalle ja organismien sisäiset mikroprosessit ovat molekyyliin perustuvia ja täten kemiallisia. Biologia ei kuitenkaan ole fysiikan tai kemian haara, vaan biologia on kiinnostunut siitä, mitä organismi tekee aktiivisena toimijana ylläpitääkseen niitä ominaisuuksia jotka tekevät siitä elävän. Soluja pidetään elämän perusyksikkönä (ilmaisu on tosin kiistanalainen) ja niistä käytetään usein niin sanottua tehdas-analogiaa. Tehtaissa on koneita, jotka tuottavat uusia tuotteita kuluttaen energiaa ja informaatio tuotteista on prosessoitavissa tehtaan sisältä. Tehdas ei toimi tai kykene toteuttamaan sitä funktiota, mitä sen pitäisi (esimerkiksi valimo jonka tulisi valaa tykkejä) perustuen puhtaasti osiin, joita sen funktion suorittaminen edellyttäisi. Tehtaalla ja sen osilla, toisin sanoen koneilla, tulee olla looginen organisaatio ja säätelykyky, jotta tehdas on toimintakykyinen. Tehtaan koneita voisi käyttää moneen muuhunkin tarkoitukseen kuin (esimerkiksi) tykkien valamiseen. Valimon tarvitsemilla laitteilla olisi käyttöä esimerkiksi kuivasatamissa laivojen rakentamisen yhteydessä. Näin kyseisen tykkien valimon funktio valaa tykkejä perustuu funktionaaliseen organisaatioon, ei niinkään partikulaarisiin osiin. Solu voidaan mieltää tehtaaksi analogisesti verrattuna edelliseen esimerkkiin tykkeihin erikoistuneesta valimosta. Solun kuvaaminen fysikaalisesti tai kemiallisesti molekyyli molekyyliltä ei kerro solusta kovinkaan

paljoo, vaikka kuvaus olisi määrällisesti täydellinen perustuen siihen, että partikulaarisella osalla voi olla useita erilaisia funktionaalisia rooleja, siinä missä samalla sorvilla voidaan sorvata tykkejä eturintamalle, tai tukirakenteita risteilijöihin. Solun funktio ylläpitää niitä ominaisuuksia jotka tekevät siitä elävän perustuu osien, eli molekyylien jne., funktionaaliseen organisaatioon – tätä organisaatiota ylläpitävät ja säätelevät mekanismit. Informaatio on näin rakennepalikoita ja työkaluja tärkeämpiä, vaikka ilman rakennepalikoita ei ole informaatiotakaan (Dougherty 2011, 59 – 60). Systeemibiologia on kiinnostunut niistä konkreettisista systeemeistä, jotka modaalisesti välttämättä toimivat tietyllä tavalla ja jotka ovat modaalisesti potentiaalisia toimimaan jollakin toisella tavalla. Välttämättömyys perustuu molekyylibiologiaan ja orgaaniseen kemiaan, kun taas mahdollisuudet perustuvat funktionaaliseen organisaatioon.

Tehtaat, kuten solut, eivät ole eristettyjä systeemejä. Tehtaan ja solun rakenne ja funktiot voidaan ainakin periaatteessa määrittellä deterministisesti, mutta ne ovat alttiita epämääräisille häiriöille tehtaan tai solun sisäpuolella että ulkopuolella. Tehdas saattaa menettää energianlähteen jonkin luonnonkatastrofin seurauksena (ulkoinen häiriö) tai laitteet itse voivat hajota (sisäinen häiriö). Solu on samalla tapaan altis ulkoisille häiriöille ja näin tarvitsee monimutkaisia järjestelmiä ylläpitääkseen toimintaansa epäsuotuisissa tilanteissa. Tuotannon kannalta olisi energiasuhteiden valossa epämielekästä sulkea tehdas kokonaan yhden työkalun hajottua. Sama pätee soluun. Vaikkakin periaatteessa deterministisiä systeemejä, sekä solu että tehdas ovat stokastisessa ympäristössä. Solu ei voi laskea sen varaan, että tila jossa se on aikana t_1 ympäristössä E, toimisi takuuvarmasti aikana t_2 ja ympäristö E pysyisi vakiona. Solu itsessään ei varsinaisesti tiedä mitään ympäristön E dynamiikasta, eli olosuhteiden muuttumisesta suhteessa aikaan. Solujen että tehtaiden tulee pitää toimintakykynsä, vaikka toinen jalka haudassa. Kapinaa ja lakkoilua tuskin biologisissa systeemeissä näkyy (apoptoosia, eli solujen ”itsemurhaa”, voisi tosin pitää jonkinlaisena konkurssina). Tätä sisäisen ja ulkoisen ympäristön epävarmuutta korvataan redundanssilla eli ylimääräisillä ”koneilla” ja varmistusjärjestelmillä. Redundanssi toki vaatii enemmän energiaa sekä tuotantoon että ylläpitoon, mutta nämä redundanssisysteemit eivät ole reservissä, vaan toimivat aktiivisesti rinnakkain sarjaan kytkennän sijaan. Näin esimerkiksi ihmisen kognitiivinen koneisto (aivot) eivät romahda yksittäisen neuronin tuhoutuessa ja lukuisten synaptisten yhteyksien katketessa. Systeemin osien lähettämien signaalien kohde on sama, joka on kykenevä vain diskreetteihin responsseihin. Tällä tarkoitetaan siis sitä, että vastaanottava osa odottaa esimerkiksi yhtä syötettä, mutta koko systeemin redundanssi pommittaa tätä vastaanottavaa osaa lukuisilla identtisillä syötteillä. Ylimääräiset syötteet jäävät rekisteröimättä, sillä responssisysteemi on

diskreetti. Kysymys responssin kannalta koskee vain sitä, mikä signaali päätyi kohteeseen ensimmäisenä. Täten ylijäämä signaali on jokseenkin turhaa – siihen ei reagoida – mutta se takaa, että systeemi saa syöttesensä, vaikka jokin eri kulkureittiä käyttävä signaali lukuisista mahdollisista syistä ei saavu perille. Täten ne ovat myös organisoituneet paralleelisesti eli rinnakkain. Systeemi ei odota laukaisevan seuraavaa signaalia virheen sattuessa (tämä vaatisi monimutkaisen takaisinsyöttöverkoston), vaan vastaanottava systeemi on diskreetti ja hyväksyy ensimmäisen syöteen. Ylijäämät ilman ongelmia jäävät vain stokastiseen meluun. Jokseenkin kaukaa haettua esimerkki on siittiöiden määrä suhteessa ovulaation seurauksesta irronneeseen munasoluun. Munasolu erittää hormoneita, jotka estävät sitä vastaanottamatta muita siittiöitä ensimmäisen päästessään sisälle. Raskaus ei populaation kannalta ole harvinainen ilmiö, mutta solubiologian tasolla se on lähemmäksi ihme.

Edward R. Dougherty (2011) katsoo, että biologian tulee ilmiöiden ennustus- ja selityskykyä ylläpitääkseen olla matematiikkaan nojaavia malleja biologisista systeemeistä. Dougherty argumentoi, että tieteellinen tieto biologiassa ottaa matematiikan työkalukseen väistämättä neljästä syystä. Ensimmäiseksi tieteellinen tieto biologiassa nojaa kvantitatiiviseen eli määrälliseen mittaamiseen. Datamäärät ovat hyvinkin suuria (satojatuhansia muuttujia) ja niiden käsitteleminen edellyttää matemaattisia kaavoja ja tilastoja. Toiseksi tieteellinen tieto biologiassa koskee osien välisiä relaatioita ja näitä relaatioita voidaan kuvata matemaattisilla kaavoilla hyvin monimutkaisillakin tavoilla. Tämä on jokseenkin lisä ensimmäiseen syyhyn, sillä osien välisiä relaatioitakin on vähintään yhtä monta kuin osia ja vielä niiden potentiaaliset yhdistelmät ja takaisinsyötöt nostavat relaatioiden määrän astronomiseksi hyvinkin yksinkertaisissa biologisissa systeemeissä ja näiden mahdollisuuksien avaruuksissa. Tässä tapauksessa puhutaan jo astronomisista luvuista, joita ei ole mielekästä numeraalisesti edes esittää sellaisinaan. Kolmanneksi biologisen tiedon ja teorian validiteetti riippuu teorian (ja sen mallien) ennustuskyvystä ja tämä ennustuskyky on kvantifioitavissa, eli diskreetisti tai propabilistisesti mitattavissa – voidaan esittää, että teoria kykenee ennustamaan määrän n ilmiöitä, kun taas teoria kaksi kykenee ennustamaan $2n$ tai lisäksi tietyn määrän muita ilmiöitä, joita aikaisempi malli ei kyennyt ennustamaan. Tällä tapaan biologisten selitysten, teorioiden ja mallien tehokkuutta voidaan mitata ja käyttää selitettävän ilmiön kannalta käytännöllisimpiä tiedettyjä metodeja. Neljänneksi matematiikka tarjoaa formaalin kielen, joka on tarpeeksi yksinkertainen mutta ilmaisuvoimainen rakentamaan kokeellisia asetelmia, jotka ovat riippumattomia siitä kuka niitä tekee. Ne ovat intersubjektiivisia ja enemmän tai vähemmän universaaleja. Matematiikan universaalien funktioiden puitteissa ilmaisuvoima tekee

matemaattisesta mallista ilmaisuvoimakkaamman ja tehokkaamman. Mallin mittapuun on siis sen ilmaisuvoima. Kaiken kaikkiaan johtopäätös on se, että modernia biologiaa ei voida harrastaa ilman malleja. Dougherty katsoo, että juuri matemaattiset mallit ovat avainasemassa. (Dougherty 2011, 37 – 38).

Matematiikka ei kuitenkaan ole ainoa tekijä biologisessa tutkimuksessa. Matemaattisen mallin täytyy edustaa jotakin konkreettisesta maailmasta ja tämä edellyttää paljon empiiristä dataa tarkasteltavasta kohteesta. Näin pitää olla jonkinlaisia niin sanottuja operationaalisia määrittelijöitä, jotka sitovat matemaattiset objektit konkreettisten systeemien osiin semanttisesti. Yksinkertaisimmillaan tämä tarkoittaa, että esimerkiksi matemaattisen muuttujan x semantiikka kuvaa aikaa tai approksimaalista lukumäärää tai prosentuaalista pitoisuutta tiettyä substanssia tietyssä tilassa. Jos substanssi on esimerkiksi HI-virus partikkelien arvioitu määrä jokaisessa kuutiomillilitrassa verta, niin tämän kaltaisella tilanteen verbaalisella representaatiolla ei tee mitään, ellei ole operationaalisia määrittelijöitä, kuten HI-virus, veri ja kuutiomillilitra. Tämä tarkoittaa sitä, että matemaattiset muuttujat ovat konkreettisen maailman ilmiöiden representaatioita. Oman näkemykseni valossa katson kuitenkin tarpeelliseksi huomauttaa, että johtuen bioinformatiikasta, systeemibiologiassa data on jo kerätty ennen kuin niillä tehdään mitään. Täten on melko kyseenalaista sitoa systeemibiologiaa suoraan ontologiaan. Empiirisen tutkimuksen määrittämien mahdollisuuksien ja välttämättömyyksiensä modaaliseen verkkoon suora sitominen onnistuu kyllä.

On hyvin merkitsevää ennustusten kannalta, onko solussa x määrä mutaatioita ja p määrä viruksia tai prioneja. Muuttujien arvot ovat toki loogisia tai numeraalisia relaatioita, mutta niiden merkitys konkreettisessa maailmassa on kriittinen. Pienillä tekijöillä on suuria seurauksia. Näiden konstituoma ”kyhäelmä” rakentaa biologisen tiedon rungon. Matemaattisten systeemien tutkiminen tarjoaa biologian tapauksessa myös tietyn edun, jota konkreettisen maailman biologisista entiteeteistä ei pystytä toteuttamaan. Biologiset entiteetit ja niiden representoiminen systeemeinä on hyvin vaikeaa, sillä biologisen entiteetin tulee olla tarpeeksi robusti ylläpitääkseen toimintaansa (hyvin monimutkaista sellaista), mutta samalla tarpeeksi herkkä reagoidakseen muutokseen ja säädelläkseen tilaa mahdollisimman energiataloudellisesti. Matemaattisissa malleissa voidaan rakentaa ”mutantteja” – systeemejä joilla on tai puuttuu ominaisuuksia tavalla, mikä luonnossa on enemmän tai vähemmän mahdotonta. Luodaan siis tarkoituksella ideaaleja malleja mahdottomista maailmoista. Tällä tavalla saadaan esimerkiksi tietoa siitä, miten systeemi ei ainakaan voi toimia.

Matemaattisissa malleissa voidaan mallintaa proteiinisynteesi ilman ribosomia, joka toteaisi sen toimimattomuuden. Toimimattomuus on informaatiota mallista siinä missä muutkin. Jos proteiinisynteesin mallintaminen ei onnistu ilman ribosomia, niin siitä voidaan päätellä, että ribosomi tai jokin sen kaltainen tarvitaan. Luonnosta tosin ei löydy yksittäistä ribosomia, joten tämä on tutkijoiden metodi tarkastella systeemin parametreja tilanteissa, joita ei ole luonnossa ja täten määritellä paremmin merkitsevät tekijät. Näin tutkijat pystyvät esittämään mitä-jos-kysymyksiä ja tarkastella systeemin käyttäytymistä tavalla, joka luonnossa on mahdotonta.¹⁵

Biologisten systeemien kuvauksissa tyypillisesti otetaan stokastinen asenne, sillä esimerkiksi proteiinisynteesissä, joka tähtää (esimerkiksi) solun jakautumiseen, tapahtuu satojatuhansia mikroprosesseja joista kumpuaa makroskooppinen ilmiö. Moisen systeemin mallintaminen on käytännössä mahdotonta diskreeteillä tekijöillä (mutta periaatteessa olemassa oleva mahdollisuus, jonka voisi ainakin periaatteessa mitata) ja täten puhutaan stokastisesta tilasta, jossa on deterministisiä systeemejä. Stokastisuus ei siis ole filosofinen kannanotto, vaan tutkimuksellinen oletus systeemin käyttäytymiselle perustuen ilmiön tunnistamisen ja tutkimisen metodologisille vajavaisuuksille. Stokastinen tila ei kerro kuinka paljon milloin ja missä, vaan pitoisuuksia suhteessa siihen todennäköisyyteen, jolla nämä stokastiset entsyymit, ionit, proteiinit tai esimerkiksi hormonit toteuttavat funktioita. On toistamisen arvoista, että biologian tapauksessa stokastisuus ei ole metafyyminen kannanotto indeterminismistä, vaan pikemminkin episteeminen asenne ja pragmaattinen välttämättömyys. Oli systeemin malli miten tarkka tahansa, niin prosessiin vaikuttaa aina tekijöitä, kuten muuttujia, jotka ovat mallin sisältämien parametrien ulkopuolella. Parhain malli ribosomista tuskin automaattisesti sisältää muuttujat gammasäteilylle. Niitä ei tiedetä tai käytännöllisistä syistä voida tai haluta ottaa mukaan tarkasteluun. Ilmiön parhaimmassa mahdollisessa (optimaalisessa) tilassa kuvantaminen ei kaipaakaan erityistilanteita. Moinen projekti on lähtökohtaisesti tuhoon tuomittu. Ei siksi että se ei olisi periaatteessa mahdollista, vaan siksi että raja pitää vetää johonkin.

Dougherty tarjoaa yksinkertaista esimerkkiä siitä, miten tarkasteltava ilmiö muuttuu deterministisestä stokastiseksi. Dougherty esittää, että jos halutaan tarkastella proteiinin Wnt5a:n määrää suhteessa geeniin WNT5A soluplasmassa (eli toisin sanoen solun sisällä) funktiolla $x(t)$,

¹⁵ Tässä kontekstissa parametrilla tarkoitetaan jotakin paikalleen asetettua muuttujaa, jolla voisi olla jokin eri arvo, mutta kyseisessä mallissa sen arvo ei muutu ja toimii vakiona, vaikka se ei luonnostaan sitä olisi.

jossa t on aikamuuttuja ja x on muuttujan numeraalinen määrä tai sijainti koordinaatistossa, niin kuvaus on deterministinen. Partikulaarisen solun tietyn proteiinin määrä suhteessa geenin aktiviteettiin ei ole yleistettävissä ja täten biologit ovat kiinnostuneita solujen satunnaisotoksista, sillä yhden solun toiminta on määrällisesti riittämätön tekemään johtopäätöksiä. Ei ole tavatonta että *in silico* -malleissa variaabeleita muunneltaessa luodaan kymmeniä, ellei satojatuhansia simulaatioita. Erilaisilla erimääritellyillä muuttujien arvoilla, jotta voitaisiin saada käsitys mekanismin toiminnasta ”normaalitilassa” aiheuttamalla häiriötä itse prosessille, joka toimisi optimaalisessa tilassa (jota ei luonnosta juuri löydy). Näin jokaisen satunnaisotoksen arvo on aina enemmän tai vähemmän erilainen ja laskettu tulos on yleistettynäkin approksimaatio. Näin tarkasteltuna proteiinin ja geenin välinen suhde mielivaltaisessa solussa on stokastinen (Dougherty 2011, 51 – 55). Solujen ja niiden sisältämien mekanismien paikantaminen, tunnistaminen ja tarkastelu ovat metodologiselta puoleltaan jo sellainen, että kuvaus edellyttää mekanististen selitysten lisäksi systeemitason mallintamista ja tulkintaa. Yksinkertaistettuna voisi esittää analogian siitä, että astronomit haluavat nähdä mahdollisimman tuoreen supernovan tarkastelemalla taivasta. Jos astronomit tarkastelevat yhtä tähteä, niin nämä saattavat joutua odottamaan tunnin tai 100 miljoonaa vuotta. Sen sijaan jos tutkijat tarkastelevat samanaikaisesti 100 miljoonaa tähteä, saattavat he päästä Jouluksi kotiin. Supernova on laadullisesti jokseenkin sama, riippumatta siitä, missä se näissä 100 miljoonassa tähdessä ilmenee.

4.1.2 Biologiset systeemit ja lakien ongelmallisuus

Biologisille systeemeille eräs oleellinen ominaisuus on stabiilisuus. Biologisten systeemien tapauksessa systeemin stabiilisuudella voidaan tarkoittaa useaa eri asiaa, sillä systeemejä voidaan tarkastella monesta eri systeemiteoreettisesta asetelmasta, mutta yhteistä kaikille biologisten systeemien stabiilisuuden käsitteille katsontakannasta tai tasosta (ns. tarkastelun resoluutiosta) riippumatta on systeemin kyky ylläpitää funktiotaan kohtuullisen perturbaation vallitessa¹⁶ (Ingalls & Iglesias 2010, 11). Perturbaatio voidaan mieltää ei-toivotuksi häiriöksi, mutta etenkin pienten ja yksinkertaisten biokemiallisten systeemien maailmassa on vähän toivomisen varaa. Täten perturbaatio lienee parempi mieltää ympäristön tilan vaihteluksi, oli kyseessä sitten lämpötila, jonkin entsyymin pitoisuuden vaihtelu, mutaatio, tai esimerkiksi virusinfektio. Vaikka voisi helposti ajatella, että mitä yksinkertaisempi kone, sitä vähemmän siinä on rikkoutuvia osia ja täten ei-toivottua käyttäytymistä. Solut ja niiden toimintaa ylläpitävät kontrollisysteemit ovat kuitenkin

¹⁶ Perturbaatiolla tarkoitetaan mitä tahansa häirintää.

äärimmäisen herkkiä ja pienetkin vaihtelut voivat aiheuttaa suuria seurauksia siinä organismissa, jonka solusta on kyse.

Biologisten ja tätä yksinkertaisempien biokemiallisten systeemien ympäristö on jokseenkin sekasortoinen ja näiden systeemien rakentamat suuremmat makrosysteemit, esimerkiksi kokonaiset solut, eivät kykenisi ylläpitämään minkäänlaista toimintaa, elleivät ne kestäisi jonkin verran perturbaatiota. Perturbaation luonne on kuitenkin ongelmallinen, sillä esimerkiksi solun tai soluelinten toiminta stokastisessa ympäristössä riippuu myös pienistä tekijöistä, jotka voivat olla ”minimaalisempia”, kuin häiritsevät tekijät, mutta silti solun kannalta välttämättömiä. Lisäksi mitä isompi ja täten monimutkaisempi systeemi on, niin sitä enemmän sen tulee kestää perturbaatiota. Biokemiassa tätä ympäristön sekasortoa, oli se sitten (soluntapauksessa) sen sisäistä (mutaatiot, prionit ym.) tai ulkoista (myrkyt), kutsutaan kohinaksi (Khammash 2010, 29). Biokemiallisten systeemien ja lopuksi solujen ympäristö on hyvin meluisa. On tärkeää pitää mielessä, että biologinen systeemi on melusta riippumatta hyvinkin deterministinen. Sen on oltava, jotta se kykenee ylläpitämään stabiilisuuttaan. Sen on oltava ns. robusti. Esimerkiksi neuronien ionipumput pystyvät käsittelemään kerralla vain diskreetin määrän kutakin ionia ja adenosiinitrifosfaattia, (ATP) jota ionipumppu käyttää energiana. Ionipumppu on siis deterministinen systeemi ja ympäristö, jossa systeemi on, on taas stokastinen (ja täten indeterministinen tai sitä käsitellään indeterministisenä). Neuronin solukalvon ionipumppu, jonka funktio on ylläpitää ns. kalvojäännitettä stabiilina, ei voi vaikuttaa siihen, miten paljon ioneja tai ATP-molekyylejä sen välittömässä ympäristössä on. Ionit taikka ATP-molekyylit eivät kykene itse ohjautumaan ionipumpun luokse taikka ionipumppu ei voi niitä puoleensa vetää sillä se ei niitä kutsu ja on täten passiivinen suhteessa toiminnan syötteeseensä. Täten ionipumpun koko olemassaolon merkitys, eli sen funktionaalisen roolin toteutuminen, on täysin riippuvainen ionien ja ATP-molekyylien satunnaisesta törmäilystä siihen äärimmäisen meluisassa ja stokastisessa ympäristössä. Lisäksi biologisesti merkittävien komponenttien, oli ne sitten ioneja, molekyylejä, tai kokonaisia soluja, molekyylikiinetiikkaa tässä meluisassa ympäristössä mitataan tutkimuksissa, selityksissä (puoliintumisaika), ja malleissa (kuten simulaatioissa) pitoisuuksina. Esimerkiksi virusten suhteellinen pitoisuus kuutiomillilitrassa verta on statistinen esitys ja suhteellinen – ei täydellinen kuvaus (Khammash 2010, 31). Tämä tekee biologisten systeemien selittämisen luonteesta filosofisesti mielenkiintoisen. Selitettävä kulloinenkin ilmiö on ensisijaisesti luonnehdittava osittain indeterministiseksi ja osittain deterministiseksi.

Jos biologia on periaatteessa palautettavissa fysiikkaan, niin biologisia selityksiä kohtaan voidaan esittää kysymys, omaako biologia samankaltaisia lakeja kuin fundamentaaliset luonnonlait fysiikassa, ovatko ne palautettavissa fysiikkaan ja jos ei niin miksi. Lähtökohtaisesti voidaan katsoa, että biologiassa vaikuttavat monimutkaiset biokemialliset prosessit ovat teoriassa palautettavissa fysiikkaan ja täten ne olisivat fysiikan lakien alaisia. Kysymys kuitenkin kuuluu, että onko biologiassa lakeja, jotka eivät ole palautettavissa fysiikkaan tai onko biologiassa ylipäättään lakeja?

Marc Lange (2008) esittää näkemyksen, jossa on kolmenlaisia lakeja. Ensinnäkin on loogiset ja metafysiset lait, faktat jotka eivät voi olla toisin (kuten esimerkiksi kirja ei voi olla itsensä päällä). Toiset ovat nomologiset välttämättömyydet, eli empiiristen faktojen kautta johdettujen lakien kokoelmat. On esimerkiksi havaittu, että emäkset liukenevat huonosti veteen. Kolmas lakien muoto on vahingot. Ei ole mikään universaali laki, että taskussani on euron kolikko, mutta sattuman kautta näin voi olla ja se toimii selittävänä tekijänä ostaessani kaupasta jotakin sen hintaista. Kyseisen ostoaktin voisi selittää nomologisesti euron löytymiseltä taskustani, mutta tämä, vaikkakin lain kaltainen lause, on yksinkertaisesti vahinko (Weber 2008, 490). Lait tieteellisessä selittämisessä edellyttävät niiden kykyä käsitellä kontrafaktuaaleja. Ei ole mitenkään poissuljettua, että olisi Roope Anka ja tällä kuutiokilometri kultaa, mutta jos-niin kysymys ei lakien mukaan salli moista mahdollisuutta esimerkiksi uraanille, sillä tämä fissioituisi massansa vuoksi. Kuten toisessa luvussa on sivuttu, laeilla on etunsa tieteellisessä selittämisessä, sillä ne eivät selitä mahdollisuuksia vaan välttämättömyyksiä jos-niin-tilanteissa. Lait ovat ikuisia, käsittelevät kaikki mahdolliset maailmat ja näin ollen ovat universaaleja. Lait koskevat luonnollisen kaltaisia (engl. natural kind) ilmiöitä. Luonnollisen kaltaiset ilmiöt ovat mm. kuutiokilometrin uraanikimpaleen kriittinen massa (joka on muiden luonnollisten tapaan lain kaltainen), kun taas Tampereen yliopiston filosofian naispuolisten opiskelijoiden feministinen orientaatio ei ole luonnollisen kaltainen lakeihin perustuva ilmiö vaan enemmänkin Langen terminologialla ”vahinko”. On kuitenkin mainitsemisen arvoista, että lain määritelmä ei ole saanut pysyvää statusta ja siitä kiistellään tätä tekstiä kirjoittaessa. Kuitenkin lain ja vahingon ero on empiirinen tai tilastollinen ilmiö, johon nojataan pragmaattisista tai episteemisistä syistä. Lakeja on tutkittu paljon filosofiassa, mutta biologiassa ne eivät ole kovinkaan menestyneitä.

Lait biologiassa ovat ongelmallisia, sillä biologiset ilmiöt niin mikro- kuin makroskooppisessa maailmassa ovat maallisia tarkoittaen tässä ja nyt. Selitykset nojaten historiaan voivat johtaa yleistäviin lakeihin, mutta ei tarvita kuin yksi vastavaikuttava premissi, niin koko lakiin sitominen käy mitättömäksi. Australiassa on tosiaan mustia joutsenia. Monet lait ovat lisäksi rakennettu koskemaan yhtä ilmiötä (kuten alkuräjähdyttä) ja täten lain fundamentaalinen rooli ikuisena faktuaalisena periaatteena on aina jokseenkin hataralla pohjalla, ellei se ole tilannemääritelty jolloin se menettäisi lain tuoman legitimitetin olla ikuinen ja universaali. Jos taas jokin lain kaltainen mekanismi ohjataan koskemaan jotakin lokaalia partikulaarista ilmiötä, niin kyse on enemmänkin mallista ja sen ominaisuuksista – ei niinkään ikuisista laeista. Biologisilla systeemeillä vaikuttaa kuitenkin olevan omia lakeja, jotka eivät ole suoranaisesti palautettavissa fysiikkaan. Verisuonisto laajenee verenpaineen noustessa helpottaakseen hapen kuljetusta kudoksiin. Tämä totisesti on palautettavissa sekä kemiaan että fysiikkaan, mutta systeemitasolla sillä ei ole varsinaisesti mitään tekemistä moisten ilmiöiden kanssa. Verisuonisto tuskin on tietoinen verenpaineen käsityksestä. Näitä kutsutaan fenotyypiksi piirteiksi yleisten lakien sijaan (Weber 2008, 494).

Nomologinen, eli lakiin perustuva välttämättömyys, ei myöskään päde evoluutiossa, jota pidetään jokseenkin ainoana hyväksyttävänä yleisenä lakina biologiassa. Biologinen ja etenkin evolutiivinen selittäminen on historiallista ja näin olisi mahdollisuus, että syystä tai toisesta puut eivät olisi kasvaneet korkeiksi. Näin ollen ei myöskään olisi kirahveja (lukijalle mainittakoon, että nisäkkäillä on seitsemän niskanikamaa, niin ihmisillä kuin kirahveilla ja tätä voidaan pitää valmiin suunnittelun kannalta melko huonona ratkaisuna) ja täten emme tuntisi kirahveja lasten kirjoista. Ei ole mikään nomologinen välttämättömyys, että on kehittynyt seitsemän niskanikamaisia nisäkkäitä, jotka ovat useita metrejä korkeita. Taustalla vaikuttaa evolutiivinen mekanismi, mutta laki se ei ole. Funktionaalinen biologia ei ole nomologinen (Lange 2008, 496). Biologia edellyttää jonkinlaista reserviä kaikille mahdollisille loogisille vaihtoehdoille riippuen ympäristöstä (tätä voidaan jokseenkin pitää äärettömänä, sillä organismi ei voi valita tai tietää ennalta ympäristöä jossa sen tulee toimia), niin lakien käyttäminen kontekstissa on vähintäänkin epämielikästä. Lange suosittelee, että lakeja koskeva filosofinen keskustelu biologian yhteydessä tulisi aina sisällyttää senhetkiseen skenaarioon, jonka sisällä laskettaisiin tai otettaisiin arvioitavaksi kaikki loogiset vaihtoehdot. Lange selvästi edustaa ns. proksimaalista asennetta suhteessa biologiaan (seuraavassa osassa lisää ultimaattisista ja proksimaalisista selityksistä). Langen mukaan loogisesti pätevät lait tulisi (ainakin biologian tapauksessa) olla tapauskohtaisia eli kontekstisidonnaisia. Lange käyttää

jokseenkin kaukaa haettua esimerkkiä kuvatessaan analogiaa lakien tapauskohtaisuutta verrata Korean sotaan siten, että liittoutuneiden joukkoja olisi johtanut Napoleon (Lange 2008, 501). Lait olisivat olleet täsmälleen samat, mutta lopputulos olisi ollut hyvin erilainen. Lange argumentoi, että funktionaaliset biologiset selitykset voivat olla tieteellisiä selityksiä. Tämä edellyttää stabiliteettia ympäristössä. Toisin sanoen jos ympäristö E käyttäytyy oletetun mukaisesti, niin ominaisuus O tulee kehittymään ja tämä on funktionaalinen laki – ei niinkään fysikaalinen, sillä jos ympäristö E käyttäytyy eri tavalla, niin eri ”lait” vallitsevat, tuottaen erilaisia ominaisuuksia. Universaali laki ei välittäisi ympäristön E muuttumisesta. Kirahvin kaulat eivät ole tähtiin kirjoitettuja. Evoluutiiviset ja täten biologiset prosessit eivät Langen mukaan ole nomologisia, vaan välttämättömiä ”vahinkoja”. Neuronin solukalvon ionipumppu ei kutsu ATP-molekyylejä tai Natrium-ioneja, mutta ottaen huomioon niiden suhteellisen määrän sekä solun ulko- että sisäpuolella, niin ionipumppu kyllä saa niitä (olettaen että organismi on hengissä), mutta ei nomologisesti vaan välttämättömänä vahinkona (Lange 2008, 503).

4.1.3 Reduktionismi ja emergenssi biologiassa

Tieteenfilosofiassa on ihannoitu ajatusta siitä, että kaikki erityistieteet olisivat redusoitavissa tai palautettavissa fyysiikkaan. Edellisessä alaluvussa käsiteltiin lakien ongelmallisuutta biologiassa, mutta biologia – etenkin systeemibiologia – on holistinen ja täten reduktio on hyvin ongelmallinen tai se tulee vähintään ymmärtää eri tavalla. Alex Rosenberg (2008) esittää, että lähtökohtaisesti reduktionismia kannattavat biologisesti orientoituneet filosofit tai biologit itse katsovat kaikkien biologisten funktioiden ja systeemien olevan redusoitavissa molekyylibiologiaan. Antireduktionistit taas usein argumentoivat, että biologisten ilmiöiden funktionaalisen selittämisen ja ymmärtämisen ei tarvitse olla täydellinen, ollakseen adekvaatti selitys tai mallinnus ilmiöstä, jonka taustalla vaikuttavat molekylaariset prosessit. Mitä biologiaan tulee, reduktionismi kohtaa ongelmia siinä, miten se tehdään selityksellisesti voimakkaaksi ja yhteismitalliseksi sille ilmiölle josta se on redusoitu. Ollakseen selityksellisesti voimakas, reduktion tulisi olla jotenkin ”palautettavissa” ilmiöön, joka redusoitiin. Redusoitu mekanismi kuitenkin hävittää sen funktion, jota se suorittaa. (Rosenberg 2008, 551 – 552).

Jos biologinen teoria redusoidaan perustuen näkemykseen suuresta tieteiden yhtenäisyydestä, niin taustalla vaikuttaa loogis-matemaattinen käsitys jonkinlaisesta formaalista kielestä ja

aksiomaattisesta systeemistä, jonka avulla pystytään representoimaan, selittämään ja ennustamaan ilmiötä, joka on redusoitu tämän kaltaiseksi aksiomaattiseksi systeemiksi. Tämä on kuitenkin biologisten ilmiöiden selitysten kannalta vähintäänkin ongelmallinen, sillä organismeista on jokseenkin vaikea löytää aksioomia ja teoreemoja. Tulkinta jossa redusoitava kohde olisi purettavissa alisysteemeihin (ja malleihin) reduktionistisessa katsontakannassa on väljempi ja sallivampi, ja siinä teoria on redusoitavissa fundamentalisemmaksi teoriaksi jne.. Vakavimmat ongelmat reduktionismille biologiassa tuli kuitenkin geenin käsitteen ja sen relaatiosta populaatioon. Minkäänlainen reduktionistinen versio ei kykene vetämään mitään siltalakia geenin ja populaation välille, joten funktionaalinen biologia sai jokseenkin yliotteen reduktionistiselta biologialta. Rosenberg vielä argumentoi, että mikä tahansa biologinen systeemi, joka toteuttaa funktiota, on monitoteutuva. Esimerkkinä Rosenberg käyttää funktionaalisen biologian oletamaa geeniä, joka vastaa hemoglobiinin syntetisoinnista. Ei ole olemassa sellaista nukleinihapon ketjua (DNA:n osaa), joka olisi identtinen hemoglobiinigeenin kanssa. Toisaalta on kuitenkin monia erilaisia DNA-sekvenssejä, jotka voivat koodautua RNA:han ja paikallisessa ribosomissa dekodata ja syntetisoida proteiineiksi, jotka rakentavat taas hemoglobiinin. Tilanne ei siis ole lineaarinen ja monitoteutuva ei varsinaisesti helpota asiaa. Etenkin ideaalitieteeseen nojaava reduktionismi ei kykene millään tavalla selittämään tätä, sillä aksiomaattinen järjestelmä edellyttäisi lakeja ja monitoteutuva mitätöi nomologiset (eli lakeihin perustuvat) selitykset. (Rosenberg 2008, 553).

Antireduktionismi ei kuitenkaan säästy ongelmilta. Jos kontrastoidaan antireduktionismi reduktionismin kanssa, niin antireduktionistiset teesit olisivat seuraavan laiset:

- On funktionaalisen tason yleistyksiä
- Nämä yleistykset ovat selityksellisiä
- Ei ole muita yleistyksiä, jotka selittäisivät funktionaaliset yleistykset
- Ei ole yleistyksiä, jotka selittäisivät paremmin, kuin funktionaalisen biologian yleistykset

(Rosenberg 2008, 555).

Edelliset teesit alistuvat jokseenkin samanlaisille kritiikeille kuten reduktionismi. Funktionaalisessa biologiassa ei ole lakeja tai mitään peittävää yleistä lakia, joka pakottaa systeemin toimimaan tietyllä tavalla. Systeemi itsessään on välttämättömyyksiensä sitoma perustuen eri makromolekyylien ominaisuuksiin, mutta funktio ei ole sama, kuin ne osat, jotka suorittavat tätä funktiota (eli makromolekyylit). Tämä on myös oiva erottelu sille, mitä pidän systeemin ja mekanismin välisenä erona. Vaikka ribosomista voikin tulla hemoglobiinia, niin se ei ole mikään modaalinen välttämättömyys. Antireduktionismi tavallaan nojaa temporaalisesti tähänhetkiseen tietoon maailman tilasta. Esimerkiksi meioosi voisi tapahtua jossakin toisessa maailmassa tai tulevaisuudessa erilaisella funktionaalisella tavalla siinä, missä erilaisella molekylaarisella tavalla johtuen monitoteutuvuudesta. Rosenberg huomauttaa, että antireduktionistinen kanta suunnattuna suoraan reduktionismia vastaan toimii niin kauan, kuin disjunktioita riittää. Niin kauan kun on disjunktioita, niin niillä on kausaalisia rooleja ja täten selityksellistä voimaa, Ongelman käsittely johtaa kiistaan epistemologian ja pragmatismien välille, ei niinkään itse ontologiaan. (Rosenberg 2008, 555 – 558).

Rosenberg pitää reduktionismin kiistaa irrelevanttina. Hän toteaa, että jos reduktionismin ja antireduktionismin välillä olisi oikea kiista, niin se ei koskisi sitä, että voiko molekyylibiologian laeista johtaa lakeja koskemaan biokemiallisia systeemejä, tai onko biokemialliset systeemit luonteeltaan redusoimattomia molekyylibiologian lakeihin. Asiaa tarpeeksi väänneltyä tullaan Rosenbergin mukaan tilanteeseen, jossa ainoa antireduktionistinen selitys on ultimaattinen selitys verrattuna proksimaalisiin selityksiin, jotka taas ovat redusoitavissa molekyylibiologiaan. Biologia kiistatta on maallinen ilmiö ja täten sillä on historiansa. Proksimaaliset selitykset selittävät, mitä tapahtuu tässä ja nyt. Kiima-aika tietyille eläinlajeille tapahtuu proksimaalisesti selitettynä monimutkaisilla hormonitoiminnoilla ja biologisilla kelloilla jotka yhdessä muodostavat äärimmäisen monimutkaisen systeemin ja sen fenomenaalinen ilmentymä on kiima. Organismi ei valitse kiima-aikaansa. Ultimaattinen selitys taas on funktionaalinen ja redusoimaton siten, että kiima-aika tapahtuu kyseisenä aikana sen vuoksi, että se on tiineysajan pituuden mukaan optimaalinen suhteessa ilmastoon ja täten ravintoon. Rosenberg kuitenkin huomauttaa, että reduktionismi voi kaivaa oman hautansa. Jos reduktionismi ei kykene palauttamaan mitä tahansa ultimaattista selitystä proksimaaliseksi, niin funktionaalisen biologian kannattaja voi aina sanoa, että proksimaalinen selitys on naamioitu ultimaattinen selitys, oli tämä selitettävä ilmiö miten mikroskooppinen tahansa. Jos väittely ultimaattisten ja proksimaalisten selitysten välillä tuntuu naiivilta, niin on suositeltavaa pohtia lukuisten eläinten naamiointikykyä. Onko perhonen tietoinen

siitä, että sen siivissä on silmien kuviot? Ovatko molekylaariset systeemit perhosen siivissä orientoituneet tuottamaan arkkityyppisiä silmiä? Tietääkö kameleontti, että se vaihtaa väriä? Onko muuttolintu koskaan kokenut talvea, johon tämä perustaisi jokavuotisen muuttamisensa? (Rosenberg 2008, 560).

Jos jonkin sukupuoleltaan dipolisen eliön genomi ei enää saa mahdollisuutta levittäytyä, kuolee tämä eliö sukupuuttoon. Edellinen lain kaltainen lause ei ole kovinkaan erilainen Sokrateen kuolevaisuutta koskevasta lauseesta deduktiivis-nomologisen selityksen esimerkissä. Lause ei kuitenkaan selitä mitään biologisista ilmiöistä, sillä vaikka sukupuuttoon kuoleminen olisikin tiedon valossa ollut odotettavissa (ja ennustettavissa), niin se ei varsinaisesti kerro biologisista ilmiöistä tai systeemeistä yhtään mitään. Se ei vastaa kysymykseen, miksi juuri tämä partikulaarinen eläin kuoli ja johti oman taksonomisen lajinsa sukupuuttoon, tai miksi juuri tämä sukupuoleltaan dipolinen eliö on joutunut kyseiseen tilanteeseen.

Edelliset kysymykset eivät myöskään koske biologiaa vaan historiaa. Sen sijaan biologinen kysymys voisi olla: ”miksi eliöt ovat tietyissä tapauksissa dipolisia?”. Edelliseen kysymykseen on hyvin vaikea kuvitella sovellettavan jotakin lakia, sillä kaikki sukupuolisuuden variaatiot, kuten sukupuolettomuuskin, on edustettuina eliökunnassa. Pyrkimys selittää edellinen laeilla olisi hyvin outo kyhäelmä evolutiivista historiaa, partikulaarisia faktoja, ja ad hoc -lakeja, joilla ei ole mitään tekemistä esimerkiksi fysiikan ns. ”luonnonlakien” ja niiden yleistettävyyden kanssa. Yksinkertaisemmat systeemit ovat ehkä lakien alaisia, sillä ne kausaalisilla suhteillaan toteuttavat funktionaalisia rooleja, jotka jollakin tapaa palvelevat suuremman systeemin (jonka osia ne ovat) käyttäytymistä. Tämän kaltaiset selitykset voitaisiin ainakin periaatteessa redusoida fysiikan alaisiksi ja täten perinteisen tieteellisen selitysmallin mukaiseksi lakien peittämäksi selitykseksi, mutta tämän kaltainen selitys ei vastaisi kysymykseen: ”miksi tämä ionipumppu on tässä neuronissa”. Vaikka neuronin ionipumppu mallinnettaisiin atomi atomilta (näin on tehty), niin se ei kertoisi mitään sen funktionaalisesta roolista samaan tapaan, miten esitettiin kaasun ja kausaalisen selityksen ongelmista. Ionipumpun molekulaarisen mallin käänteinen insinööriikka ei paljastaisi sen roolia neuronissa tai missään muuallakaan. Mainittakoon vielä, että ionipumpun atomitason mallinnus ei perustunut morfologiaan, joka olisi saavutettu kuvia tarkastelemalla. Kyseinen rakennelma pystyttiin rekonstruoimaan perustuen makromolekyylien ominaisuuksiin ja näiden mahdollisiin että välttämättömiin rajoihin. Molekyylibiologiassa molekyylien ominaisuuksien

mahdollisuudet ja välttämättömyydet määrittelevät kiistatta eniten biologisia prosesseja. Esimerkiksi syanidi häiritsee hemoglobiinin raudan sitoutumista muihin proteiineihin näin hajottaen sen ja tehden kuolettavia seurauksia uhrillensa. Tämä voisi perustua episteemiseen tietokantaan. Se on ontologinen fakta, mutta filosofisesti tarkasteltuna syanidilla on välttämättömyys reagoida hemoglobiinin raudan kanssa siten, että seuraukset ovat mitä ovat.

Johtuen edellisessä luvussa esitetyistä ongelmista koskien tieteellisiä selityksiä, ei liene yllättävää, että mekanistiset selitykset toimivat biologiassa poikkeuksellisen hyvin. Kuten aikaisemmin mainittua mekanismeista on useita määritelmiä, mutta biologian tapauksessa Codfrey-Smith käyttää määritelmää, jossa mekanismi on osien järjestelmä, joka tuottaa monimutkaisemman järjestelmän ilmiötä koskien kokonaista systeemiä säännöllisellä tavalla (Codfrey-Smith 2014, 15). Edellisen kaltainen määritelmä ei sido mekanismin monimutkaisuutta juuri millään tavalla. Kyseinen määritelmä voi aivan yhtä hyvin tarkoittaa ribosomia, solua, kissaa, ihmistä, fotosynteesiä, meiosisia, tai vaikka muurahaisyhteiskuntaa. Tämän tekstin kannalta kuitenkin pysytään solussa ja sitä alemmilla että abstrakteimmilla tasoilla. Kuvailu siitä, miten alemman tason osien kausaaliset relaatiot ja niiden funktionaaliset roolit toteuttavat korkeamman tason ilmiötä ei vielä ole laadullisesti kaukana kausaalisista ja lainkaltaisista selityksistä. Stuart Glennan (2005) kirjoittaa, että mekanistisille selityksille löytyy lainkaltaisia yleistyksiä (kuten tulivuoren purkautuminen aina viiden vuoden välein), mutta nämä eivät ole positivistisessa mielessä lakeja (Glennan 2005, 446). Edellisen kaltaisia lainkaltaisia yleistyksiä koskien mekanismeja vaivaa mm. se, että mekanismit voivat rikkoontua ja täten lainkaltaiset mekanismien käyttäytymisten yleistykset lakkaavat olemasta (toisin kuin esimerkiksi deduktiivis-nomologisen ihannoimat universaalit lait). Etuna kuitenkin Glennan mainitsee (verrattuna logiikkaan nojaaviin peittävän lain malleihin) analogiset mekanismit, jotka ohittavat alimääräytyneisyyden ongelman (Glennan 2005, 457). Klassisen määritelmän mukaan alimääräytyneisyyden ongelmalla tarkoitetaan sitä, että tarkastellun ilmiön voi aiheuttaa ääretön määrä tai vähintään kaksi samanarvoista teoriaa (kaiken teorian valossa jo kaksi on yhtä ongelmallinen kuin ääretön määrä teorioita), joista ei voida päätellä että kumpi on ”parempi”. Alimääräytyneisyyden ongelma on looginen, mutta mekanismien tapauksessa ongelma on jokseenkin pragmaattinen. Mekanistinen kuvaus olisi analoginen teorialle ja mekanismin käyttäytymistä käsittelevä kuvaus olisi taas analoginen tarkasteltu ilmiö. Analogia alimääräytyneisyydelle olisi se, että olisi monta mekanistista kuvausta samalle käyttäytymiselle. Mekanismien tapauksessa kyse ei ole loogisesta ongelmasta, vaan pikemminkin metodologinen haaste. Mekanismia voidaan tutkia tarkemmin ja saavuttaa täten suurempi tieto mekanismin osien

funktionaalista rooleista tai sitten voidaan yksinkertaisesti rikkoa väli teorian ja tarkastelun välillä ja tehdä jonkinlainen episteeminen sopimus, sillä mekanismit eivät nojaa logiikkaan sinänsä, mikä nauttisi jonkinlaista riippumattomuutta sopimuksista. (Glennan 2005, 457 – 461).

Biologisista systeemeistä puhuttaessa emergenssin yhteydessä kysymys koskee sitä, että onko makrosysteemillä jotain sellaisia ominaisuuksia, jotka eivät ole selitettävissä ja ennustettavissa perustuen sen mikrosysteemien (osien joista makrosysteemi koostuu) ominaisuuksiin (Boogerd et al. 2005, 132). On mahdollista ajatella, että mekanistiset selitykset tekevät emergenssistä episteemisen ongelman (ja ilmiön) ja täten jonkinasteisen illuusion, mutta ainakin toistaiseksi vaikuttaa siltä, että biologiassa on totisesti emergentejä ilmiöitä. Boogerd kumppaneineen argumentoivat, että jos emergenssiä tarkastellaan vaikutuksena, ei ominaisuutena, niin sillä on paikkansa luonnontieteissä ja biologiassa. Kaasujen vaihto keuhkoissa on helppo mallintaa esimerkiksi kausaalis-mekanistisesti, mutta se ei varsinaisesti kertoisi mitään ihmisen elämän ylläpitämisestä. Ei itse asiasta elämästä ylipäättään – mitä ikinä sitten elämä onkin. (Boogerd et al. 2005, 133).

Vahva emergenssi julistaisi, että jos olisi täydellinen tieto systeemin mikrosysteemeistä, esimerkiksi bakteerin kaikista molekyyleistä, niin niistä ei pystyisi dedusoimaan bakteerin käyttäytymistä. Heikompi emergenssi Boogerdin ja kumppaneiden mukaan nojaa kolmeen viitekehystä määrittelevään käsitteeseen biologisissa systeemeissä (Boogerd et al. 2005, 134). Heikon emergenssin ensimmäinen määrittelevä käsite on fysikalistinen monismi. Tämä määrittelevä käsite toteaa heikon emergenssin nojaavan fysikalistiseen monismiin eli ajatukseen siitä, että emergenteiksi ominaisuuksiksi mielletävät ilmiöt loppujen lopuksi nojaavat asioihin jotka ovat fysikaalisia. Tämä on ontologinen ominaisuus, mutta sen juuret ovat biologiassa jokseenkin erilaiset, kuin perinteisesti voisi ajatella. Ei siis ole mitään dualismia tai vitalismia. Toinen määrittelevä käsite on organisationaalisuus koskien ominaisuuksia. Tämä puskee vahvaa emergenssiä heikommaksi siten, että emergenteiksi ominaisuuksiksi mielletty ominaisuudet ovat vain ominaisuuksia, joita systeemin osilla ei ole. Vaihdelaatitot ja renkaat eivät varsinaisesti aktualisoi auton ”autoutta” puhumattakaan julkisesta liikenteestä. Kolmas määrittelevä käsite on synkronisoitunut determinatio. Tämä määrittelevä käsite tarkoittaa sitä, että systeemistä ilmenevä emergenttinen käyttäytyminen perustuu sen osien synkronisaatioon ja täten sen käyttäytyminen on riippuvainen sen osien käyttäytymisestä. Toisin sanoen systeemin käytös muuttuu, jos sen osien

käytös muuttuu, ja täten heikko emergenssi on kaikki nämä kolme ehtoa huomioon ottaen jonkinlainen asetelma mereologisesta supervenienssistä. Mereologisella supervenienssillä yksinkertaisesti ilmaistuna tarkoitetaan sitä, että ominaisuus on supervenientti perustuen siihen, että ominaisuuden päättämisominaisuus häviää, jos se irrotetaan kontekstistaan. Esimerkiksi solun ja ribosomin tapauksessa ribosomin supervenientti ominaisuus häviäisi, jos ribosomi ei ole solussa. Mereologia tieteenä siis tutkii osien ja kokonaisuuksien rooleja systeemeissä.

Boogerd kumppaneineen (Boogerd et al. 2005) toteavat heikon emergenssin olevan yksinkertaisesti liian heikko ollakseen selityksellisesti hyödyllinen biologiassa. Heikon emergenssin kautta tarkasteltuna kaikki organisoituneet systeemit, kuten esimerkiksi hiekkakasa, ovat emergenttejä (joskin Stuart Kauffman esittäisi eriävän mielipiteen). Ratkaisuksi Boogerd ja muut esittävät, että vahvaa emergenssiä tarkasteltaessa tulisi tehdä erottelu vertikaalisen ja horisontaalisen vahvan emergenssin välille. Vertikaalinen vahva emergenssi (jota voisi melkein kutsua super-vahvaksi emergenssiksi) toteuttaa ehdon, että jos on systeemi PR emergentillä ominaisuudella R (R on siis systeemin P ominaisuus), niin $R(A, B, C)$ (jossa siis ominaisuudesta vastaavat tekijät ovat A, B, ja C) ei ole edes periaatteessa mekanistisesti selitettävissä A:n, B:n ja C:n ominaisuuksilla, niiden välisillä relaatioilla ja luontoa koskevilla laeilla. Näin systeemin PR ominaisuus R on emergentti. Horisontaalinen vahva emergenssi toteuttaa ehdon, että systeemin PR emergentti ominaisuus R ei ole dedusoitavissa A:n, B:n, tai C:n ominaisuuksista, jos (esimerkiksi) A:n ominaisuudet eristyksissä ei ole dedusoitavissa, jos se on kontekstissa $R(A, B, C)$. Jos A olisi esimerkiksi ribosomi, niin ilman B:n ja C:n läsnäoloa ribosomi, eli A, ei kykene selittää omaa rooliansa mereologisessa joukossa A, B, ja C, taikka selittää roolia käyttäytymisessä R systeemissä P. Toisin sanoen horisontaalisessa vahvassa emergenssissä osan ominaisuudet eivät ole selitettävissä, jos osa on systeemin ulkopuolella tai toisin sanoen eristettynä, ja tämä tekee koko systeemistä vahvasti emergentin. Kuten mainittua, esimerkiksi ribosomin ominaisuuksia ei voitaisi horisontaalisesti vahvan emergenssin mukaan selittää mekanistisesti, jos se on solun ulkopuolella. Boogerd ja kumppanit toteavat, että jos vertikaalisen emergenssin ehto täyttyy, niin mekanistinen selitys pettää ja jos horisontaalisen ehto täyttyy, niin systeemin ominaisuus tai vaikutus on emergentti. Kummassakin tapauksessa systeemin ominaisuus tai vaikutus on emergentti, mitä tulee niihin selityksiin, joita systeemistä tehdään ja tällä ei ole vaikutusta siihen, mikä kanta emergenssiin otetaan..(Boogerd et al. 2005, 135 – 136).

4.2 Biologiset systeemit, funktiot ja teleologia

Biologisia systeemejä käsitellessä Peter Codfrey-Smith (2014) esittää kysymyksen, mitä eroa on organisoituneella ja ei-organisoituneella systeemillä? Codfrey-Smith jokseenkin lähentelee kysymyksellään elävän ja ei-elävän systeemin erottelua ja tässä erottelussa ensimmäinen tekijä on funktio, jota systeemi toteuttaa. Yksinkertaisimmillaan funktio voi olla esimerkiksi systeemin itsensä ylläpitäminen, tietynlainen ympäristön melun vastustaminen vaikka entropian tasolla. Toisaalta kun biologiset systeemit koostuvat useista alisysteemeistä, niin on oleellista kysyä koskien korkeamman tason funktioita, miten modernin biologian tulisi suhtautua käsitykseen siitä, mitä päämäärää systeemi tavoittelee (Codfrey-Smith 2014, 60). Codfrey-Smith siis lähentelee kysymystä teleologisen ja funktionaalisen näkemyksen ja lopulta selityksen eroista.

Funktionaalisia lauseita käytetään biologiassa kauttaaltaan. Justin Garson (2008) mainitsee vain muutamana esimerkkinä munuaisten funktion puhdistaa verta, hemoglobiinin kuljettaa happea ja neuronien aksonien myeliiniin tehostamaan sähköisen impulssin kulkua. Garson myös lisää, että oikeastaan koko lääketiede on rakentunut funktionaalisen ajattelun ympärille siten, että se tutkii biologisia systeemejä silloin kun ne eivät toimi.¹⁷ Tätä voi havainnollistaa eri elämäntieteiden alojen nimillä. Neurotiede tutkii hermostoa, joka toimii, kun taas neurologia tutkii hermostoa joka ei syystä tai toisesta kykene suorittamaan sille oletettuja funktioita. Tässä on myös yksi asia, johon on syytä kiinnittää huomiota. Puhuttaessa systeemeistä ja niiden funktioista, taustalla on aina oletus siitä, että systeemin tulisi toimia tietyllä tavalla – systeemillä on vakioksi oletettu funktionaalinen rooli joka aktualisoituu sen mekanismien spatiotemporaalisesta tilasta ja ympäristöstä meluineen päivineen. Täten puhuttaessa funktioista biologiassa, sillä on sekä teoreettinen että käytännöllinen rooli. Funktioilla on (teoreettiselta puolelta) selityksellinen rooli, sillä esimerkiksi munuaisen rooli ihmisen kehossa selittyy pitkälti sen funktion mukaisesti, kuten sanomalehti tiivisteenä aikaisemmassa luvussa. Vaikka funktionaaliset selitykset eivät ole lakeihin nojautuvia, eli nomologisia kuten perinteiset peittävän lain mallit, niin ne ovat kuitenkin normatiivisia perustuen juuri siihen ajatukseen, että systeemin oletetaan vakiona suorittavan tiettyä funktionaalista roolia. Garson huomauttaa, että funktionaaliset selitykset ovat jokseenkin teleologisia perustuen siihen, että funktion rooli on tehdä jotakin, joka periaatteessa ei ole vielä tapahtunut ainakaan selityksellisessä järjestyksessä. Lisäksi systeemit tyypillisesti tuottavat tai estävät jotakin, eli tekevät työtä. Ongelma

¹⁷ Ns. patogeeninen orientaatio. Joskin tänä päivänä on nähtävissä ns. salutogeeninen orientaatio nousemassa suurempaan suosioon.

piilee siinä, että suorittaakseen funktion, systeemin tulee olla jo paikallansa. Ennen kuin sähköimpulssi voi siirtyä tehokkaasti aksonia pitkin myeliinin suorittaman funktion seurauksena, tulee myeliinin olla jo paikalla.

Tästä jokseenkin yksinkertaisesta ilmiöstä tulee ongelmallinen kausaalisten selitysten tapauksessa, sillä tulevaisuus ikään kuin vaikuttaisi nykyisyyteen. Tämä ongelma tunnetaan taaksepäin suuntautuneen kausaliteetin ongelmana. Sanomalehti ei estä vetoa ovenraosta, ellei se ole jo siinä. Tämä myös tekee mekanistisista selityksistä erikoisia ja siinä samalla myös biologisista selityksistä. Ne eivät varsinaisesti ala tai lopu mistään. (Garson 2008, 526).

Garson (2008) esittää kaksi vaihtoehtoista näkemystä funktionaaliseen selitykseen ratkaista tai ohittaa taaksepäin suuntautuneen kausaliteetin ongelman. Ensimmäinen näkemys on ”etiologinen”, joka tarkastelee asiaa ”taaksepäin”, ja toinen näkemys on konsekventialistinen, joka tarkastelee asiaa ”eteenpäin”.¹⁸ Garsonin mukaan eräs tapa tarkastella ”taaksepäin” etiologisesti on esittää representaatio tulevaisuudesta, joka toimii selityksellisenä ankkurina ja näin ”tulevaisuus” on representaatio mahdollisesta maailmasta, jota käytetään funktionaalisen selityksen syynä. Näin ei rikota kausalisuuden ehtoa sille, että syy on ennen seurausta. Tästä kuitenkin seuraa ongelma. Jos syyt ovat selittäjän mentaalisia representaatioita, niin miten funktiot ovat päätyneet aktuaaliseen maailmaan? Eräs tapa on toki teleologinen selitys, kuten Jumalan luomiskertomus tai älykkään suunnittelijan rooli systeemeissä. Toinen tapa tarkastella etiologista funktiota on eliminativistinen. Eliminativistinen katsontakanta tunnustaa funktion roolin olevan kiinnittyneenä tavalla tai toisella sen tarkoitukseen, funktionaaliseen rooliin joka aktualisoituu tulevaisuudessa, mutta eliminativistinen kanta pois sulkee tämän tieteellisestä selityksestä. Eliminativistille funktionaalinen selitys on enemmänkin heuristiikka, kuin normatiivinen malli sille miten biologinen selitys tulisi tehdä. Ei-representationaalinen näkemys etiologiseen katsontakannalle funktioista hylkää tulevaisuuden syynä ja tekee tietynlaisen evolutiivisen syklin. Taaksepäin suuntautunut kausaatio selitetään nykyisen systeemin funktion aikaisemmilla funktioilla. Garson esittää yksinkertaisena skeemana seuraavanlaisen kyhätelmän: Systeemi X suoritti funktion Y aikana t_0 , ja seurauksena systeemi X oli kykenevä jatkamaan funktion Y suorittamista johtuen siitä, että systeemi X suoritti funktion Y. Tästä seuraa, että systeemi X kykeni tuottamaan toisen systeemin, joka on tyyppiä X

¹⁸ Käytän konsekventialismia suomennoksena, jotta tätä ei sekoitettaisi Larry Wrightin seuraus-etiologiseen selitykseen, joka on jokseenkin hybridi kuin yksittäinen malli.

aikana t_1 ja niin edelleen. Tämä on jonkinlainen hybridi teleologisesta ja funktionalistisesta selityksestä. Ei kovinkaan erilainen kuin Larry Wrightin seuraus-etnologinen selitys. Voisi käyttää ilmaisua, että systeemistä vastaavat mekanistiset osat olivat oikeassa paikassa oikeaan aikaan. (Garson 2008, 527 – 531).

Funktiot tarkasteltuna konsekventialistisesti ”eteenpäin” etenee siten, että ei pyritä selittämään miten jokin funktio, tai evolutiivisesti piirre, on ollut suotuisa ja täten Garsonin esittämän syklisen skeeman mukaisesti ylläpitänyt itseään. Konsekventialistit katsovat, että funktio kontribuoi jotain varten ja pyrkii ottamaan eroa teleologiaan siten, että se ei selitettäisi pitkän tähtäimen funktionaalisia rooleja (ultimaattisia selityksiä), vaan osien rooleja systeemissä (Garson 2008, 538). Eräs tapa käsittää funktio konsekventialistisesti on pitää systeemin osan ainoana funktiona sen kontribuutiota ylläpitää sen systeemin funktiota, jonka osa se on. Tämä tapa on heuristinen, sillä osa saa funktionsa siltä, kuka sitä tarkastelee. Jousella ei ole juuri muuta vaihtoehtoa, kuin toimia jousena, mutta ollakseen jousi, se edellyttää jonkin tarkastelijan osoittamaan se jouseksi, sillä totisesti, jousi aparaattina voi olla väärässä paikassa väärään aikaan. Täten moista näkemystä kutsutaan kiinnostuksen kohteen kontribuutioteoriaksi tai yksinkertaisemmin kyseisen näkemyksen edustajan nimen mukaisesti Cumminsin funktioiksi (Cummins 1975). Tämä näkemys pitää funktioita ensisijaisesti selitystyylinä, ei filosofisen analyysin tai tieteellisen tutkimuksen kohteena. Näkemys itsessään ei ole funktion itsensä kannalta ongelmallinen, mutta mitä tieteelliseen selittämiseen tulee, niin selitys on kiinnostuksen kohteen kontribuutioteoriassa aina selittäjäriippuvainen. Oli kiinnostuksen kohde valittu sitten episteemisesti tai pragmaattisesti, niin Cumminsin funktiot eivät kykene tekemään erottelua systeemin varsinaisilla funktioista ja sivutuotteista.

Garson esittää esimerkin sivutuotteen ja oikean funktion välillä käyttämällä esimerkkinä laboratoriossa sijaitsevaa letkua, joka kuljettaa helposti kaasuuntuvaa myrkkyä. Jos letkuun tulee reikä, ja kaasuuntuva myrkky tainnuttaa kaikki laborantit, jotka pyrkivät paikkaamaan reiän, niin olisi jokseenkin outoa todeta, että letkun funktio on tainnuttaa laborantteja. Cumminsin funktiot eivät tee erottelua tämän kaltaisten ilmiöiden välillä. Kyse on vain kiinnostuksen ja näin selityksen kohteesta – ei tarkastelijasta riippumattomasta syystä ja näin tarkastelijasta (tai selittäjästä) riippumattomasta todellisuudesta. Tästä myös seuraa, että mikä tahansa asia voi suorittaa jotakin funktiota. Biologisten funktioiden analyysissa joutuu tavalla tai toisella ongelmiin. Täten usein

suositaan jokseenkin etiologista asennetta, mutta voimakkaasti kontekstisidonnaisuutta ja pluralismia, mitä tulee selityksiin (Garson 2008, 531). Funktion rooli siis ilmeni sen spatiotemporaalisesta statuksesta ja mahdollisesti sen itsensä toimintamekanismin tai ulkopuolisen toimijan suorittavan roolin mukaisesti.

Monet biologiset organismit pyrkivät johonkin ja osat joista ne koostuvat ovat jotakin varten. Jollakin systeemin osalla on kausaalinen rooli, joka palvelee suurempaa systeemiä tai kokonaista organismia ja tätä kausaalista roolia, ei itse kausaalisuutta, voi kutsua systeemin osan funktioksi. Jos systeemiltä odotetaan jonkinlaista normaalia toimintaa, toimintaa jota systeemin tulisi suorittaa, niin systeemin osat toteuttavat tätä käytöstä funktioillaan. Tämä näkemys on jokseenkin alhaalta tai yksinkertaisemmasta ylös tai monimutkaisempaan. Toisaalta voidaan tarkastella, että miksi jokin osa on systeemissä? Systeemin käyttäytyminen tunnetaan mutta sen osien rooleja ei. Täten vastaus kysymykseen, miksi jokin osa on kyseisessä systeemissä, on selitys ja jokseenkin teleologinen. Voidaan kysyä miksi sydän on nisäkkäissä? Vastaus sydämen funktionaalille roolille (pumpata verta) on jokseenkin teleologinen selitys. Tämän kaltaiset selitykset ovat itse asiassa identtisiä seurausetiologialle, jota käsiteltiin aikaisemmissa luvuissa. Vaikka teleologinen tai seurausetiologinen selitys sydämelle, mitokondriolle, tai vaikkapa neuronin ionipumpulle on varsin järkeenkäypä, niin selitys käy kuitenkin aina vain vähemmän mielekkäämmäksi mitä pienemmälle tai alemmalle tasolle mennään – mitä tarkempaa resoluutiota käytetään. Sydämen seurausetiologinen selitys on varsin käypä, mutta entäpä jonkin proteiinin tai valkuaisaineiden joista proteiini on tuotettu (Codfrey-Smith 2014, 64)?

Tyypillisesti jonkin systeemin osan olemassaoloon ja täten vastaukseen kysymykseen: ”miksi osa X on tässä” (tai ”mikä on X:n funktionaalinen rooli”) tarjotaan evoluutiota ja tietynlaista takaisinsyöttöä. Tämä herättää vaikeita kysymyksiä siitä missä vaiheessa tuli ensimmäinen sydän tai missä vaiheessa elämä kehittyi. Codfrey-Smith katsoo, että moisia kysymyksiä ei tarvitse esittää, vaan voidaan ottaa kvasi-teleologinen asenne (jota kutsutaan joskus teleonomiseksi). Codfrey-Smithin mukaan on selityksellisesti irrelevanttia tähtääkö sammakko karpäsiin vai mustiin pisteisiin jos sen osien summa on sammakon evolutiivisen historian summa. Seurausetiologiset selitykset eivät Codfrey-Smithin mukaan ole ”soveliaisuuden hyve” tyydyttämään kiistat selitysten tyypeistä, vaan yksinkertaisesti tietyn kaltainen selitys. (Codfrey-Smith 2014, 63 – 65).

4.2.1 Dekontekstualisoinnista

Solussa toimivien osien – komponenttien – (jotka rakentavat biologisen systeemin) määrä on yksinkertaisesti niin suuri, että jokaisen molekyylin mallintaminen esimerkiksi edes esitumallisessa organismissa on pragmaattisesti epämielekästä paitsi synteettisessä biologiassa ja tässäkin kontekstissa (ainakin toistaiseksi) toimitaan suhteellisten pitoisuuksien, ei partikulaarien oletetun määrän mukaan. William Bechtel ja Arnon Levy (2013) esittävät, että vaikka tieteenfilosofit olisivat enemmän kuin mielellään pyörittelemässä maksimaalisesti täydellisiä systeemejä, eli systeemejä joissa jokainen funktion toteuttamisen kannalta relevantti (edes redundanttisesti) osa on otettu huomioon, niin määrä ei todellakaan korvaa käytettävyyttä. Bechtel ja Levy kannattavat systeemejä koskevien mekanististen selitysten nojaavan mieluummin voimakkaampaan abstrahointiin sen sijaan, että mekanistisen selityksen ”tehokkuus” määriteltäisiin siten, että ne kuvaisivat määrällisesti mahdollisimman täydellisen systeemin. Abstraktio on aina astekysymys ja jättää monia ovia auki koskien monia erilaisia ominaisuuksia.

Bechtel ja Levy huomauttavat myös, että abstraktiota ei tule sekoittaa idealisaatioon. Selityksen, mallin tai teorian idealisaatio on tarkoituksella sellainen, jolle ei löydy vastinetta konkreettisesta maailmasta. Bechtel ja Levy hahmottavat tätä erottelua käyttäen esimerkkinään ideaalista ääretöntä jänispopulaatiota (Bechtel & Levy 2013, 243). Jänispopulaatio ei ole ääretön, mutta kenelläkään ei ole ongelmallista tulkita tätä idealisaatiota ja tehdä tästä erilaisia ajatuskokeita ja testauksia. On kuitenkin huomioitavaa, että empiristit mielellään sanoisivat, että kaikki abstrahoinnit ja idealisoinnit ovat johdettu jostakin konkreettisen maailman instansseista, mutta Bechtel ja Levy katsovat, että tämä kanta on jokseenkin vanhanaikainen. Ajatus siitä että abstrahoinnit olisivat jotakin konkreettisesta maailmasta revittyjä tuotteita tai olioita on epämielekäs koskien biologisia systeemejä ja Bechtel ja Levy painottavat hyvin paljon sitä, että abstrahointi on representoimista tai mallintamista. Toiseksi biologiassa esiintyvät systeemit ja niitä koskevien mekanististen selitysten kanssa tulee olla varovainen, sillä organisaatio ei tarkoita kompleksisuutta tai tämän kompleksisuuden rakennetta sinänsä, vaan pikemminkin systeemin tai systeemiä koskevan mekanismin funktionaalisten roolien kausaalisia relaatioita. Bechtel ja Levy tarjoavat hahmotuksen vuoksi esimerkkinä koeputkea, jossa on homogeeninen seos (eli seos, jossa on useampaa kuin yhtä ainetta, mutta seos on homogeeninen perustuen siihen, että eri aineiden pitoisuudet ovat samankaltaisia kaikkialla seoksessa). Homogeeninen seos on hyvin kompleksinen systeemi, mutta sen sisällä ei tapahdu (esimerkin vuoksi) mitään mainitsemisen arvoista kausaalista työnjakoa

funktionaalisten roolien välillä. Tämä on aika tärkeä huomautus koskien mallintamista, josta omassa luvussa lisää. Vaikka systeemillä olisi sisäinen rakenne, niin siitä ei saa tehtyä mekanistista selitystä aikaiseksi jos sen osilla ei ole sellaista funktionaalista roolia, joiden poissulkeminen vaikuttaisi merkittävästi koko systeemin käyttäytymiseen. Esimerkkinä Bechtel ja Levy käyttävät makromolekylaarisia systeemejä kuten ribosomia tai bakteerin flagellaa, eli siimaa. Nämä makromolekulaariset systeemit omassa systeemitason yksinkertaisuudessaan (vaikka molekylaarisesti määrällisesti monimutkaisissa) koostuvat osista, joiden läsnäolo systeemissä on edellytys itse systeemin toiminnalle. Diffuusio sen sijaan ei ole mekanismi sinänsä, sillä jokainen (vaikka niitä osia olisi määrällisesti valtavasti) osa suorittaa identtistä roolia. Tämä ei kata mekanismin edellytyksiä, vaikka teknisesti kyseessä on systeemi. Abstrahointi tässä kontekstissa on teoreettinen työkalu, jolla helpotetaan tutkijoiden työtä. Tämä kanta on myös merkittävässä roolissa tieteellisessä mallintamisessa. (Bechtel & Levy 2013, 243 – 245).

William Bechtel (2013) esittää, että biologisten systeemien selittäminen päättyy vääjäämättä mekanistiseksi selitykseksi. On systeemiteoriaa ja systeemiajattelua, mutta ei systeemiselityksiä. Tämä on äärimmäisen tärkeä huomautus. Toisin sanoen ensiksi pitää löytää tai tunnistaa biologisesta ilmiöstä vastaava mekanismi, jotta se voidaan selittää. Tämä ”kandidaattimekanismi” puretaan osiin ja operaatioihin, joita osat suorittavat; nämä osat taas uudelleenkasataan, jotta ymmärrettäisiin ilmiöstä vastaavan mekanismin hierarkia ja organisaatio. Mekanismin abstrahoinnin taso tulee tavallaan itsestään. Se syntyy tutkijan määriteltäessä ilmiön itsensä tason (sitä kun tutkija sen itse ymmärtää) ja mekanismin taso seuraa. Kun mekanismi on onnistuneesti uudelleenkasattu osista ja niiden operaatioista ja haluttu ilmiö on kyetty uudelleen tuottamaan, niin mekanismi sijoitetaan ympäristöön. Siihen oletettuun ympäristöön, jossa kyseinen ilmiö on havaittu. On syytä pitää mielessä, että mekanismin purkaminen ei ole reduktionistinen prosessi sen perinteisessä mielessä, sillä (etenkin biologiset) osat ja niiden operaatiot toimivat eri tavalla, jos ne eivät ole siinä kyseisessä systeemissä, johon mekanistista selitystä sovelletaan. Toiseksi jotta ilmiöstä vastaavaa mekanismia voidaan testata, täytyy se uudelleen kasata. Uudelleen kasaaminen johtaa selittäjien ymmärrykseen selitettävästä ilmiöstä vastaavasta mekanismista ja toisin kuin perinteisessä reduktionismissa, niin ymmärrys itsessään ei selity alemmalla tasolla vaan alemman tason konstruktiosta ylemmälle tasolle. Näin mekanismia voidaan lisäksi testata. Jos se tuottaa samanlaisen ilmiön, jota alun perin tutkittiin, niin uudelleenkasasta voidaan pitää onnistuneena ja täten selitystä. Viimeisin vaihe, ympäristöön sijoittaminen, on viimeinen testi. Onko

uudelleenkasattu mekanismi tarpeeksi adaptiivinen tai robusti ylläpitämään toimintaansa meluisassa ympäristössä. (Bechtel 2013, 487 – 488).

Jos mekanismit lähtökohtaisesti ovat selittämässä ilmiötä, niin mitä sitten ilmiöt itsessään ovat? Bechtel huomauttaa, että biologiassa ja mekanistisissa selityksissä ylipäätään ei nojata havaintoihin (havainnolliseen dataan), vaan ilmiöihin, jotka tapahtuvat konkreettisesti maailmassa riippumatta siitä, miten, missä ja milloin ne havaittiin (Bechtel 2013, 492).¹⁹ Ilmiöt joita biologiassa ollaan selittämässä, eivät siis ole datamassoja, vaan ilmiöitä kuten yhteyttäminen, nisäkkään synty, verenkierto ja niin edelleen. Ennen kuin kyseisestä ilmiöstä vastaavaa mekanismia päästään tutkimaan, niin mekanismi tulee ”vierauttaa” tai pikemminkin eristämään ympäristöstänsä. Ilmiö tulee niin sanotusti dekontekstualisoida. Metodologinen taso, vaikkakin huomattavan nopeasti kehittyvä, ei vielä mahdollista selitettävästä ilmiöstä vastaavien mekanismien eristämistä tai esimerkiksi syntetisoimista tavalla, joka olisi selityksellisesti tai edes taloudellisesti kannattavaa. Täten ilmiöstä vastaavan mekanismin eristäminen tapahtuu yksinkertaisesti luomalla jokin representaatio mekanismista, sillä ontologisesti eristetty mekanismi mereologian nimissä menettää funktionaalisen roolinsa.²⁰ Representaatioita on monenlaisia. Representaatio voi olla verbaalinen tai esimerkiksi graafinen, mutta biologit etenkin solu- molekyyli- ja systeemitasolla ovat kiinnostuneita arvoista, kuten missä määrin, kuinka nopeasti ja kuinka paljon. Tämän vuoksi representaatiot ovat tyypillisesti matemaattisia kaavoja ja simulaatioita. Näitä kaavoja tosin voidaan representoida simulaatioina, graafisesti diagrammeissa ja niin edelleen. Bechtel huomauttaa, että matemaattisia funktioita pidetään helposti nomologisina ja täten saattaa helposti ajautua ajatukseen, että mekanistisissa selityksissä matemaattiset kaavat edustaisivat nomologisten selitysten lakeja. Näin ei kuitenkaan ole. Mekanististen selitysten matemaattiset kaavat ja niiden funktiot eri arvoilla tai arvojen muutoksilla kuvaavat ilmiötä, eivät pakota ilmiötä odotettaviksi kuten lait tekevät. Representaatio on myös siten välttämätöntä mekanistisille selityksille, sillä havainnollisen datan saaminen biologiassa edellyttää kohteen huomattavaa manipuloimista. Bechtel kehottaakin miettimään, että missä määrin mikroskoopissa esiintyvä kohde on artefakti manipulaatiosta ja missä määrin varsinaisen kohde luonnossa (Bechtel 2013, 493).

¹⁹ Voimakas orientaatio modaaliseen kantaan.

²⁰ Voimakas orientaatio episteemiseen kantaan.

Biologiassa melko usein ilmiöstä vastaavaa mekanismia etsiessä löydetään ensiksi jokin mekanismin osa ja sitten vasta itse mekanismi. Toisaalta kuitenkin löytykö mekanismi vai sen osa ensin, niin itse mekanismin tunnistaminen ja purkaminen osiksi ei varsinaisesti muutu itse selityksessä. Kun on tunnistettu jokin sopiva mekanismikandidaatti, niin tunnistamista varmennetaan tuottamalla tästä mekanismin representaatioista ”mutantteja”, eli mekanismeja jotka eivät edusta joiltakin ominaisuuksiltaan sitä kohdetta, jota niiden tulisi representoida. Tällä tavalla mekanismeja voidaan testata ja havaita jos se tuottaa jotakin liikaa tai liian vähän ollakseen juuri se mekanismi, joka vastaa ilmiöstä, jota ollaan selittämässä. Mahdottomilla mekanismeilla tavallaan rajataan mahdollisuuksien avaruutta, jonka seurauksena ilmiöstä vastaavan mekanismin osat ja niiden operaatiot määrittyvät paremmin. Mahdottomilla mekanismeilla siis suoritetaan tietynlaista korrelatiivista tutkimusta. Kun mekanismin osat on identifioitu, niin niiden osien funktionaalisten roolien määrittely etenee oikeastaan samalla tavalla. Osista tehdään ”mutantteja” ja katsotaan, miten muut osat reagoivat tähän. Mutantit ovat luotettavampia, kuin osien poisto ja täten funktioiden poisto, sillä kokonainen systeemi voi romahtaa osan ja sen funktion puuttuessa. Tämä on kuitenkin melko harvinaista johtuen aikaisemmin esitetystä reservistä tai redundanssista. Biologiset mekanismit ovat horisontaalisesti emergenttejä tässä suhteessa ja siten yhden osan manipulointi tuottaa huomattavia vaikeuksia kokonaisen systeemin käyttäytymiselle, ellei systeemi ole organisoitunut siten, että sillä on redundanteja osia. Tämä on (etenkin biologiassa) usein tapaus, mutta redundanssin ilmeneminen itsessään on jo tietynlainen funktionaalinen rooli, joka tulee sisällyttää itse mekanistiseen kuvaukseen ja selitykseen. Tiivistetysti voidaan sanoa, että biologit usein tietävät selitettävän ilmiön, mutta niiden osien roolien selvittäminen on äärimmäisen aikaa vievää. Täten on helpompaa testata mekanismeja siten, miten se ei ainakaan toimi, kuin yritettäisiin suorilta vastata kysymykseen, miten tämä kyseinen mekanismi toimii. (Bechtel 2013, 497).

Vaikka täydellisen listan kaikista ilmiöstä vastaavista osista ja operaatiosta olisi saavutettu (huomioitavan arvoista, että toivomus moisen tilan saavuttamisesta saadaan ehkä massiivisen työn tuloksena mutta harvemmin), niin minkäänlaista selitystä ei vielä ole tehty (Bechtel 2013, 500). Osista pyritään uudelleen kasaamaan mekanismi, joka on vastuussa tutkitusta ilmiöstä. Usein käy niin, että tutkijoilla ei ole listaa kaikista mekanismin osista ja operaatioista (tutkijat voivat tosin luulla että näin on) ja usein merkittävä osa operaatioista ja mekanismin osista ilmeneekin vasta uudelleen kasaamisen yhteydessä. Uudelleen kasaamisen testaaminen onnistuu parhaiten matemaattisten kaavojen avulla. Lisäksi mekanistisesti selitettävän systeemin osat eivät operoi keskenään lineaarisesti (tästä lisää etenkin malleja koskevassa luvussa). Ihmiset ovat hyvin huonoja

mentaalisesti representoimaan tämän kaltaista kompleksista toimintaa, joten matemaattiset kaavat ja niistä tehdyt interaktiiviset kyhäelmät ovat jokseenkin välttämättömiä. Viimeinen mekanistisen selityksen validioiva tekijä on sijoittaa kandidaattimekanismi sellaiseen ympäristöön (tai ehtoon), jossa se luonnossa esiintyisi. On esimerkiksi todettu, että yksisoluisillakin organismeilla on kirkadiaaninen rytmi (eli vuorokausirytmä) ja täten hypoteesien testaamisella on päädytty konsensukseen, että jokaisella solulla on kirkadiaaninen rytmi ja täten kirkadiaaninen rytmi on ainakin mikrotasolla oltava geeni-proteiini-tason ilmiö. Maailma jossa elämme noudattaa 24 tunnin vuorokausirytmä perustuen planeetan pyörimiseen akselinsa ympäri. Näin kirkadiaanisen rytmän solutason mekanistisen selittäjän tulisi myös vastata kysymykseen, miten solun sisäinen rytmi voi manifestoitua organismeissa, jotka solun ulkopuolisen maailman mukaisesti joutuvat vielä yö/päivä-rytmäin. Loppujen lopuksi luvun opetus on se, että biologiassa ilmiöistä vastaavat mekanismit ja niiden osat suorittavat usein useampaa eri tehtävää erilaisissa ympäristöissä ja täten ympäristön rooli mekanismin toiminnassa on otettava huomioon ja perinteinen selitys biologisille prosesseille on epämielekäästä. (Bechtel 2013, 553 – 556).

5 Mallien epistemologia ja suhde selityksiin

Tämä luku saattaa tuntua hieman irralliselta. Kuitenkin tekstin alussa mainitsin, että tieteellisen selityksen ja mallin välinen suhde on vähintäänkin häilyvä ja täten se on tärkeä käsitellä tarkasti ymmärtääkseen selitysten, mallien ja lopulta systeemien luonnetta itse tieteessä – tässä tapauksessa biologiassa. Itse tekstin kannalta katson, että biologian kannalta tieteellinen selitys on mekanistinen selitys (siinä ei ole lakeja) ja malli on representaatio systeemistä itse, joka on vastuussa siitä asiasta, jota se tekee. Representaatio mallina on täten epäsuora malli sille, miten aktuaalinen systeemi, biologinen entiteetti toimii. Täten katson tarpeelliseksi käsitellä tässä luvussa tieteellisiä malleja, jotta lukija saa käsityksen siitä, miten mallit toimivat tieteessä ja näin on helpompi käsitellä systeemejä tuonnempana.

Tieteen tekeminen ja tieteellisten tulosten esittäminen edellyttää jatkuvaa mallien luomista, korvaamista ja selittämistä. Tieteilijät kuitenkin ottavat mallit enemmän tai vähemmän annettuina. Tämän tulokinnan mukaan minkä tahansa ilmiön selitys on myös malli, joten on melko vaikeaa eritellä sitä, mikä tieteessä on malli ja mikä ei. Lisäksi malleja on käytetty kautta historian, joten ei ole ollut päivää, jolloin ihmiset päättivät aloittaa mallintamisen. Myöhemmin toki alettiin luomaan

teorioita, koulukuntia, ja jopa malleja selityksistä, mutta mallien itsensä tutkiminen filosofisesta tarkastelukannasta on melko tuore ilmiö. Tieteenfilosofia tarkastelee malleja lähtökohtaisesti kahdesta eri suunnasta. Toisaalta ollaan kiinnostuneita mallin ja sen kohteen välisestä suhteesta. Millä tavalla malli edustaa ja selittää sitä kohdetta, jota se mallintaa? Toisaalta voidaan kysyä, mikä on mallin ja teorian välinen suhde. Onko malli teorian ja kohteen suhdetta välittävä tekijä? Entä onko teoria itse malli tai joukko malleja? Mallit ja selitykset ovat hyvin lähellä toisiansa ja tämä luku on tärkeä havainnollistamaan tätä skenaariota. Myöhemmin esitän, että systeemi on analoginen mekanistiselle selitykselle, joten mallien tarkastelu on tämän tekstin kannalta äärimmäisen olennaista, sillä siinä missä selitys korvataan mekanismilla, niin malli tullaan korvaamaan systeemillä.

Aina ei ole edes selvyyttä siitä, mitä ollaan mallintamassa. Esimerkiksi tekoälytutkimus on oiva esimerkki tällaisesta tilanteesta. Tekoälytutkijoilla ei ole juuri yhteisymmärrystä siitä, mitä älykkyys on tai ollaanko mallintamassa jotain älykkyuden osatekijää ja missä määrin se voidaan tulkita älykkyudeksi. On melko haastavaa arvioida sitä, mikä on mallin representationaalinen rooli, jos mallintajat eivät tiedä, mitä ollaan representoimassa. Tämä ei ole kuitenkaan mikään este mallintamiselle. Mallien tyypit tai ominaisuudet eivät itse asiassa riipu kohteesta. Tämä tekee mallien tyypittämistä niiden alkuperäisen tarkoituksen kannalta merkityksettömiä. Kohde ei määritä mallin tyyppiä millään universaalilla perusteella. Mallin tyyppin valinta ei riipu kohteen ominaisuuksista, vaan tutkijan motiiveista. Tyyppin valitseminen on pragmaattinen ja se usein myös ilmaistaan mallia esittäessä. Syy mallin valinnalle voi olla esimerkiksi tekninen tai tiedollinen puute. Tämän tekstin kannalta voisi ajatella, että tämä luku olisi ollut alussa, mutta mitä tekstin kannalta oleellisimpaan erityistieteeseen, systeemibiologiaan, tulee, niin systeemibiologiset selitykset kumpuavat poikkeuksetta malleista, eikä mallien ja selitysten välinen raja ole niin mustavalkoinen. Systeemibiologia siksi että se pitää sisällään kaikki tämän tekstin kannalta vaikutusvaltaiset tekijät. Mallien sanotaan usein selittävän ja ennustavan, mutta selitystenkin sanotaan (luonnollisesti) selittävän ja ennustavan. Tämä teksti on käsitellyt mekanismeja ja systeemejä tähän mennessä pitkälti rinnakkain tai synonyymeina, mutta tämän luvun kannalta malli on suositeltava mieltää representaatioksi systeemistä tai tietynlaiseksi aparaatiksi, joka toimii selityksen tuottajana. Systeeminä, joka toteuttaa ne funktionaaliset roolit, jotka aktualisoivat mekanismin. Teksti voi vaikuttaa irralliselta sinänsä, mutta mallien ymmärtäminen on välttämätöntä systeemibiologian filosofiselle ymmärtämiselle. Selitys olisi siis se funktio, joka vastaa ilmiöstä,

kun taas malli olisi se aparaatti, joka aktualisoi selityksen funktion. Toisin sanoen malli voisi olla teknisesti systeemin kuvaus.

5.1 Teorioista malleiksi

Yksinkertaisesti ilmaistuna voisi sanoa, että teoria on viitekehys, jonka sisällä vallitsee jonkinlainen konsensus siitä, mitä asioita se käsittelee, mitkä niiden väliset relaatiot ovat ja mitkä ovat niiden mahdolliset merkitykset tieteelle tai teorian yleiselle agendalle. Mallit sen sijaan voidaan tässä kontekstissa mieltää abstrahoiduiksi tai idealisoiduiksi instansseiksi asiantiloista ja prosesseista joita voidaan testata ja verrata systemaattisesti lisätäkseen tukea itse teorialle tai saavuttaa anomalioita, joiden lopullinen lähde on joko teoria, malli tai ilmiö. Oli tilanne mikä hyvänsä, tyypillisesti mallit rakennetaan teorioista, ne ovat hypoteettisia skenaarioita ja niistä konstruoidaan tilanteita, joita voidaan testata lisätäkseen tukea teorialle tai jopa kumota se. Tietyllä tapaa voisi sanoa, että mallien kanssa toimiminen on mahdollisten maailmojen testaamista suhteessa erinäisiin ehtoihin, jotka ovat välttämättömiä tai mahdollisia perustuen käsityksiin edellisissä luvuissa esitetystä modaalisesta kannasta. Kuitenkaan mallin ja teorian välinen suhde ei ole näin suora. Mallin ja teorian välinen suhde on tärkeässä roolissa, kun käsittelemme tuonnempana malleja systeemibiologiassa. Mallit mahdollisuuksineen ja välttämättömyyksiin ovat se viitekehys, johon biologit törmäävät.

Tieteellisiä malleja on jokseenkin vaikea erottaa teorioista, sillä ne koostuvat hyvin pitkälti samanlaisista tekijöistä tai ”osista”. Mallit siinä missä teorialtkin nojaavat erityistieteissä empiiriseen dataan, kumpaakin testataan, kumpikin nojaa edelliseen tietoon, kumpikin on itseään korjaavia ja kumpikin on ihmisen tekemä luomus. Mallit kuitenkin ovat autonomisia sinänsä, että mallintaminen tai mallin rakennus ei edellytä teoriaa. Katsontakantoja on monia, mutta käsitelläkseen malleja, niin on syytä tarkastella ensiksi teorioiden luonnetta, koska autonomisuutensa vuoksi mallit eivät edellytä teorioita, niin ne silti hyvin pitkälti sijoitetaan teorioihin tai katsotaan edustavan teorioita, vaikka niiden ominaisuudet yleisesti mielletään nousevan niistä representationaalisista relaatioista kohteeseen, joita ne mallintavat. Mallit olisivat ikään kuin teorian ja kohteen välissä. Tämä asettaa ne episteemisesti mielenkiintoiseen positioon. Itse asiassa malli voi olla aivan yhtä hyvin teorian kuin ilmiönkin mallinnus. Tyypillisesti malli on kumpaakin.

5.1.1 Mallit ja motivaatio

Malleja ei tehdä syyttä. Niitä voidaan testata ja niistä voidaan tehdä ns. selityksellisiä mutanteja eli malleja, jotka eivät tarkoituksella toimi. Modernissa tieteessä mallit kutakuinkin rakentavat tieteellisen metodin etenkin informaatioteknologian aikana. Bailer-Jonesin mukaan tieteellinen malli on tulkinnallinen (tarkoittaen sitä, että malli tarvitsee käyttäjänsä ja tulkitsijansa siinä missä selitys vaatii selittäjän ja selityksen tulkitsijan) kuvaus ilmiöstä, joka rakentaa ”pääsyn” itse ilmiöön. Koska ”pääsy” malliin on tulkinnallinen, niin mallin tulkitsijan tulee keskittyä ilmiön tiettyihin ominaisuuksiin ja täten jättää pois joitakin muita ominaisuuksia – abstrahoida itse ilmiötä. Toisaalta tulkinnan kautta mallille annetaan ominaisuuksia, joita itse ilmiöllä ei ole. Näin malli on eräänlainen hybridi konkreettisten ja abstraktien ominaisuuksien kanssa. Bailer-Jones huomauttaa, että nämä eivät ole anomalioita tai mallin puutteita, vaan tietoisia muutoksia, jotka edesauttavat pääsyä tarkasteltavaan ilmiöön. Pääsy ilmiöön tarkoittaa käytännössä sitä, että mallista saadaan informaatiota ilmiöstä suoraan tai ehtoja ”väkisin” pakottamalla. (Bailer-Jones 2009, 2).

Bailer-Jones pitää malleja ulkoisina representationaalisina työkaluina (vertauksena esimerkiksi mentaaliseen representaatioon). Tarja Knuutila (Knuutila 2011, 265) on kutsunut malleja epäsuoriksi representaatioiksi, sillä ne eivät representoi ikonimaisesti kohdettansa, mutta kertovat siitä epäsuorasti hyvin paljon. Malleja käsiteltäessä on syytä huomioda ero abstrahoinnin ja idealisoinnin välillä, sillä mallit käyttävät lähes poikkeuksetta ainakin jompaakumpaa. Abstrahoinnilla tarkoitetaan sitä, että mallista jätetään tietoisesti osia, prosesseja, tuloksia jne. pois, jotka eivät palvele sen tulkinnallista ja näin selityksellistä ja ennustavaa roolia itse tieteessä. Orgaaninen kemia tuskin tarvitsee kvanttimekaniikkaa malleissaan, vaikka on yleinen konsensus siitä, että kvanttimekaniikka on aidosti läsnä kaikessa kemiassa. Tämä on tietoinen valinta yksinkertaistaa malli palvelemaan mallintajan, tutkijan tai selittäjän agenda. Idealisointi on sen sijaan esimerkiksi aikaisemmin mainittu ”mutantti” positiivisessa tai negatiivisessa mielessä. Negatiivisessa mielessä malli on idealisoitu siten, että se edustaa tai representoi kohdetta tavalla, miten kohde ei ainakaan voi toimia. Moinen asetelma rajaa mahdollisuuksien avaruutta siten, miten malli itse voisi toimia. Positiivinen asetelma on taas tehdä tietynlainen mahdoton malli, joka palvelee jonkin ilmiön yli-ilmentymistä siten, että se on helpommin käsiteltävissä, ymmärrettävissä ja esitettävissä. Esimerkiksi supernovat ovat äärimmäisen harvinaisia ilmiöitä jopa galaktisissa mittasuhteissa, mutta supernovien ilmentymisen mallintaminen käy informaatiotaloudellisemmaksi mallintamalla niiden tapahtuvan joka 10 sekunti, vaikka ne ilmenevät vähintään noin kerran 100

miljoonassa vuodessa. Tämän kaltaiset idealisoidut mallit ovat varsin käytännöllisiä esimerkiksi opetustilanteissa. Kumpikin asetelma kielii mallien vahvaa pragmatismista ja instrumentalismista roolia tieteen tekemisessä tai opettamisessa – ylipäätään informaation siirrossa.

Teorioita ja malleja usein pidetään toistensa osina, mutta Bailer-Jones huomauttaa, että teorit pyrkivät olemaan mahdollisimman abstrakteja ja toimivat universaalisti. Mallit sen sijaan toimivat lokaalisti. Malleja voisi periaatteessa pitää teorian lokaalina tai partikulaarisena ilmentymänä koskien tiettyä kontekstia tai asiantilaa, joka on kulloisenkin tieteellisen tehtävän piirissä. Bailer-Jones toteaaakin, että enemmän tai vähemmän mikä tahansa, jota käytetään kuvaamaan tai analysoimaan empiirisestä maailmasta, on malli. (Bailer-Jones 2009, 4 – 9).

Tiede on yksinkertaisesti täynnä malleja eikä ole mitenkään epätavallista, että malleista tehdään malleja. Itse asiassa minkä tahansa ilmiön, konkreettinen tai hypoteettinen, esittäminen epäsuorasti tai representoiden (esimerkiksi graafisesti tai verbaalisesti) on tietynlaista mallin luomista, sikäli kun kyseessä ei ole kuvaus, vaan jokin mekanismi, joka tuottaa eri tuloksia eri arvoilla. Mainitakseen hyppysellisen teoriaspesifejä malleja, voi luetella malleja kuten Bohrin atomimalli, Lorenzin ilmastomalli ja Wrightin seuraus-etiologinen malli. Toisaalta voidaan luetella malleja sillä tavalla, miten ne representoivat sitä kohdetta, joka kuuluu teorian rajaamaan tarkastelualueeseen. Näitä malleja ovat mm. testausmallit, ideaaliset mallit, matemaattiset mallit, simulaatiot ja esimerkiksi heuristiset mallit. Ei ole oikeastaan mitään ylärajaa sille, miten monta mallia olisi tai miten niitä luokiteltaisiin. Tieteilijöitä tämä ei sinänsä vaivaa, koska tieteilijät luovat mallinsa ongelmista ja ne ovat näin ongelmaspesifejä. Ongelmaspesifisyys on tavallaan seuraus siitä, että mallit olisivat teorian instansseja tai lokaaleja versioita. Filosofit sen sijaan ovat erittäin kiinnostuneita mallien luonteesta riippumatta siitä, missä ohjelmassa niitä käytetään ja miksi. Filosofit siis kysyvät, mikä on malli? Mikä tekee mallista mallin? Mitä ominaisuuksia mallilta tulisi poistaa, että se ei olisi enää malli? Tämän tekstin kannalta mielenkiinto koskien malleja perustuu niiden läheiseen suhteeseen tieteellisten selitysten kanssa, sillä mallit ja selitykset omaavat samat ominaisuudet. Biologiset selitykset edellyttävät malleja ja niitä oikeutetaan systeemeillä, jotka ovat tavallaan sekoitus edellisistä. Modaalisia seurauksia siitä, miten asiat nyt sattuvat olemaan.

5.2 Tieteelliset mallit ja niiden representationaalinen rooli

Mallien monimuotoisuuden vuoksi ei ole järkevää ruveta kartoittamaan suoraan sitä, minkälaisia malleja käytetään, tai mikä niille on yhteistä ja mikä ei. Filosofisesti hedelmällisempi tapa lähestyä asiaa on altistaa mallit eri filosofian kenttien mukaisille kysymyksille. Semantiikan kannalta voidaan kysyä, mikä representationaalinen rooli malleilla on? Ontologisesti kysymys kuuluisi, että minkälaisia olioita mallit ovat. Epistemologinen asenne kysyisi, mitä voimme tietää kohteista, joita mallit representoivat, tai mikä on teorian ja mallin välinen suhde. Ovatko mallit konkreettisia olioita? Tietysti näiden eri näkemysten sisällä on omat vastauksensa kysymyksiin siitä, ovatko mallit realistisia, ideaalisia, ovatko mallit redusoitavissa ja jos ovat niin miksi, ovatko mallit selityksiä, mikä on mallien ja yleisten lakien välinen suhde ja ovatko mallit informaatiota vai saadaanko malleista informaatiota jostakin. Biologian raakamateriaali on hyvin pitkälti malleja ja etenkin systeemibiologiassa raaka-aine on systeemit, jotka ovat lähes täysin analogisia malleille, mutta enemmän rakenteellisina tuotteita tuottavina aparaatteina episteemisten kuvausten sijaan. Ovatko systeemit epätoivoinen yritys konkretisoida tieteellisten mallien epistemologia? Mikä on mahdollisuuksien ja välttämättömyyksien rooli tieteessä koskien biologiaa?

Tässä luvussa tarkastelen mallien ominaisuuksia, kuten niiden kykyä representoida kohteitaan, jota pidetään jokseenkin kaikille malleille universaalina ominaisuutena. Juuri tämä ominaisuus kuitenkin tekee mallien epistemologisen ja ontologisen statuksen ongelmalliseksi. Ennen kun voidaan tarkastella mallien representationaalisia rooleja, lienee paikallaan mainita muutama sana analogioista ja niiden eroista representaatioihin. Bailer-Jones mainitsee, että ennen kuin analogiat rinnastettiin suoraan malleiksi, uusien selittämättömien ilmiöiden tullessa tutkimuksen kohteeksi, tieteilijät usein käyttivät analogioita valaisemaan näitä ilmiöitä. Moisia esimerkkejä on mm. valon selittäminen aaltoliikkeenä (Bailer-Jones 2009, 48). Jos tutkimuksen lähtökohtana on löytää ilmiöstä vastaava mekanismi ja täten selittää kyseinen ilmiö, niin analogiat voivat totisesti ohjata tutkimusta, vaikka taustalla vaikuttavia mekanismeja ei tunnettaisikaan. Lisäksi analogian tutkiminen voi antaa tietoa sekä analogiasta, että siitä kohteesta, josta analogia on tehty, tai jota varten analogia on tehty. On tärkeää pitää mielessä, että ilmiö ei välttämättä johda mallin luomiseen siitä, malli voidaan luoda ilmiötä varten. Jos ilmiö motivoi luoda mallin, niin voidaan katsoa, että ontologinen ilmiö toimii motiivina mallin luomiselle. Sen sijaan jos ilmiötä varten luodaan malli, niin lähtökohta on episteeminen. Näin analogiat eivät ole mitään kertakäyttöisiä tikapuita, jotka hylätään mekanismin paljastuttua. Analogia on oma systeeminsä ja täten mekanisminsa. Bailer-Jones kutsuu analogian löytämistä ja vastaavuutta tutkittavaan kohteeseen ”intellektuaaliseksi

ekonomiaksi”. Tällä hän tarkoittaa sitä, että kaksi abstraktia systeemiä – analogia ja selittämätön systeemi – tulevat lähemmäksi toisiaan ja näin paremmin ymmärretty (analogia) auttaa ”arvaamaan” selitettävän systeemin luonteesta jotakin, mitä ilman analogiaa ei olisi saavutettu (Bailer-Jones 2009, 51). Tämän katsontakannan mukaan voidaan arvioida, että malli tehtäisiin ilmiötä varten episteemisesti. Malli on ekonomisen siten, että sillä oikaistaan anomalioita mallin idealisoinnin ja abstrahoinnin avulla. Ekonomisuus on siis informaatiotaloudellinen ratkaisu. Ei niinkään ontologinen kannanotto tai esitys siitä systeemistä, josta ollaan puhumassa, ts. mallintamassa episteemisesti.

On jokseenkin helppoa huomata, että neutraalin analogian ominaisuudet ja täten sen käyttöominaisuudet tekevät siitä itse asiassa tieteellisen mallin. Analogialla on selityksellistä voimaa ja se kykenee tekemään ennustuksia. Mallien on useissa eri lähteissä sanottu ennen kaikkea toimia selittäjinä ja ennustajina. Bailer-Jones kuitenkin vastustaa näkemystä siitä, että analogia olisi automaattisesti malli. Hän toteaa, että analogia on relaatio, kun taas malli on tulkinnallinen kuvaus ilmiöstä, ja malleja ei arvioida, miten hyviä analogioita ne ovat, vaan miten hyvin ne saavuttavat tietoa ilmiöstä, jota mallin kautta tulkitaan (Bailer-Jones 2009, 56).

Roman Frigg ja Stephan Hartmann (2005) katsovat, että malleilla voi olla kahdenlaisia fundamentaalisesti erilaista representationaalista roolia. Malli voi representoida kohdettaan, eli erityistieteiden tapauksessa joko ilmiötä tai dataa. Toisin sanoen malli rakennetaan representoimaan jotakin säännönmukaisuutta tai itse ilmiötä. Toinen eri representationaalinen rooli mallilla on teorian representoiminen. Sen sijaan että malli representoisi jotakin partikulaarista ilmiötä tai tiettyä datamassaa, niin malli voi representoida puhtaasti teoriaa, ottamatta kantaa mihinkään partikulaariseen asiaan. Frigg ja Hartmann huomauttavat, että nämä kaksi eivät ole toisensa poissulkevia kantoja ja yksi malli voi samanaikaisesti representoida kumpaakin. Tämä tekee tieteellisistä malleista filosofisesti tarkasteltuna mielenkiintoisia olioita, sillä ei ole esimerkiksi mitenkään tavatonta, että malleja käytetään synonyymeinä teorioille. Hiukkas- tai korkean energian fysiikkaa harrastava on törmännyt varmasti useammin kuin kerran ilmaisuun, jossa hiukkasfysiikan standardimalli julistetaan maailman tarkimmaksi teoriaksi. Täten mallien erottaminen teoriasta (tai kohteestaan) on jokseenkin mahdotonta. Friggin ja Hartmannin näkemys myös nojaa siihen, että malli tehtäisiin ilmiölle ja olisi täten episteeminen akti ja olio.

Mallit kertovat tutkijoille maailmasta sellaisia asioita, joita mallin edustamalla kohteella on ja (toivottavasti) sellaisista tilanteista ja ilmiöistä, jotka ovat liian monimutkaisia ihmisen

mentaalisesti representoida. Tämä ei ole biologiassa mikään uusi asia. Lukuisat biologiset ilmiöt sisältävät jopa satojatuhansia muuttujia, joten niiden manipuloiminen ja tulkitseminen ilman mallintamista on yksinkertaisesti yli-inhimillinen tehtävä. Kenellekään tuskin on vieras mallinnus paikallisesta säästä jokaisessa säätiedotuksessa, mutta harvemmin tulee ajatelleeksi, että malli joka representoi ukkosmyrskyä Itämerellä perustuu laskennallisesti yli-ihmisen tasoiselle matematiikalle ja datamassalle. Malleilla myös voidaan tehdä ”mahdollisia maailmoja”, joissa malli representoi sellaista systeemiä, joka ei ole mahdollinen; systeemiä joka on mahdollinen, mutta sen parametrit eivät ole tai esimerkiksi systeemiä, joka on mahdollinen, mutta sen ympäristö ei ole (melko lähellä parametrien mahdottomuutta). Kertoi malli kuitenkin mitä hyvänsä, niin on tärkeää pitää mielessä, että kun malli on rakennettu, niin siitä ei saa informaatiota vain katsomalla kyseistä luomusta. Mallia pitää käyttää ja manipuloida, jotta se kertoo miten malli itse toimii, mitä se denotoi maailmasta ja mitkä ovat mallin käyttäjän tulkinnat kaikista edellisistä. On myös esiintynyt keskustelua systeemitieteilijöiden keskuudessa siitä, että ovatko mallit ja/tai teorit informaatioportteja, jotka ovat ikään kuin pääsy realistisen maailman ilmiöihin ja niistä vedetään episteemistä dataa, vai missä määrin mallit itse ovat informaatiota? Ajatus taustalla on se, että mallit edustavat päivä päivältä kohteitaan enemmän ja enemmän, ja voi olla mahdollista, että kohteen representaatio on pian presentaatio. Esimerkiksi synteettinen ja komputationaalinen biologia ovat kovaa vauhtia hälventämässä mallien representationaalisia ominaisuuksia. Olisiko syntetisoitu ”toimiva” (elävä) E. Coli -bakteeri malli E. Coli -bakteerista?

Ronald Giere (2004) huomioi että puhuessa mallien representationaalisista rooleista, tieteenfilosofit melko usein jättävät tieteellisen käytännön, varsinaisen praktiikan, käsittelemättä. Giere hahmottaa tilannetta, että malli ja sen kohde eivät suinkaan ole ainoat tekijät mallien ja niiden kohteiden välisiä suhteita käsittelevässä skeemassa. Ensinnäkin malli tarvitsee tulkitsijan. Tulkitsija voi olla tutkija, tutkijaryhmä tai kokonainen tieteellinen yhteisö, mutta loppujen lopuksi se koostuu intentionaalisista agenteista joilla on päämääriä ja tarkoituksia (Giere 2004, 743). Gieren skeema on seuraavan lainen: S käyttää X:ää representoimaan kohdetta W:tä syystä P. Tässä skeemassa S on Tulkitsija, eli intentionaalinen agentti, X on malli jota käytetään representoimaan W:tä eli kohdetta syystä P. Giere käyttää mallista tarkoituksellisesti symbolia X sillä tämä on kysymyksen kohde, mikä on muuttujan X arvo? Giere huomauttaa, että X voi olla lukuisia asioita, kuten kaavoja, diagrammeja, simulaatioita, pienoismalleja tai lähes mitä hyvänsä. Mallilla on aina tulkitsijansa, mutta mallintamisella on myös aina motiivi ja motiivit ovat tyypillisesti episteemisiä. Tapa ohittaa ne ihmisen käsityskyvyn rajat, jotta monimutkaisia ilmiöitä voidaan käsitellä. Malleja ei tehdä

lämpimikseen. Ne ovat instrumentteja esittämään jokin monimutkainen asia siten, että tulkitsija voi saavuttaa tulkinnan, joka palvelee kaikkien osapuolten agenda.

Bailer-Jones katsoo, että keskustelu tieteellisten mallien representationaalisesta roolista on melko tuoretta filosofian alalla ja koskee lähinnä kysymyksiä tieteellisestä realismista. Onko maailma sellainen, miten tiede (ja täten mallit) sen kuvaavat? Mallien representaatiosta luonnollisesti herää kysymys, ovatko mallit tosia vai eivät? Mallit eivät peilaa tai toista todellisuutta, vaan representoivat todellisuudesta tietyissä tilanteissa tiettyjä ominaisuuksia. Samaa ilmiötä voi selittää ja ennustaa useampi toisensa poissulkeva malli, eikä ole mitään kriteeriä sille, mikä niistä on toistaan parempi johtuen niiden tilannesidonnaisuudesta ja ongelmaspesifisyydestä. Bailer-Jones kutsuukin malleja dynaamisen tiedon muodoiksi (Bailer-Jones 2009, 184). Mallien representationaalinen rooli kaiken kaikkiaan on hyvin hajallaan ja vaatii paljon systemaattista työtä – etenkin järjestelemistä. Motivaatio paineen edessä moiselle on kuitenkin melko toissijainen, sillä tiede kehittyy uskomattoman nopeaa vauhtia ja pian voi hyvinkin olla mahdollista, että mallin ja sen kohteen välinen ero on ehkä enemmän keinotekoinen, kuin malli kohteesta. Representaatio ja sen kohde on hyvin monimutkainen suhde ja tämän suhteen selvittämien vaatii paljon työtä, ja joko hyvässä tai pahassa, muuttuu entistä enemmän toistensa peilikuviksi. Täten jonkinlaisia siirtymiä pois tästä mahdollisesta loukusta tai merkitysten menettämisestä on tarjonnut fikcionalismi, jossa hyväksytään mallien roolit (idealisoinnin ja abstrahoinnin jalanjäljissä) tavallaan turvallisesti avoimiksi todellisuuden malleiksi, jotka eivät edes pyri representoimaan juuri mitään. Näiden arvo tieteessä perustuu taas niiden instrumentalistiseen ja antirealistiseen luonteeseen (kts. esim. van Fraassen 1980). Kaiken kaikkiaan käänteli malleja ja niiden kohteita miten hyvänsä, vaikuttaa melko selvältä, että mallit luodaan ilmiöille sen sijaan, että suunta kulkisi ilmiöstä malliin. Ilmiö jota mallinnetaan, täytyy tunnistaa ja erottaa (ei välttämättä ymmärtää), jotta siihen voidaan soveltaa mallia. Toisaalta voidaan tehdä malli ilmiöstä riippumatta ja kokeilla, mihin se mahdollisesti sopisi. Jos mekanismi on se funktio, joka toteuttaa jonkin ilmiön, niin malli on epäsuora representaatio siitä systeemistä, joka on vastuussa tästä funktiosta. Myöhemmin tässä tekstissä malli rinnastetaan systeemin käsitteeseen, joka on siis se aparaatti, joka on osiensa vuoksi vastuussa niistä akteista, jotka toteuttavat itse funktion. Se, mitä mallit sitten ovat verrattuna konkreettisiin systeemiin, on hieman kyseenalaisempi skenaario.

5.2.1 Mallit ja fikcionalismi

Jotkut tieteenfilosofit pitävät ilmiöitä jonakin luonnon tapahtumina, jotka tulee määrittää datalla, kun taas toiset katsovat, että ei ole varsinaisia luonnon tapahtumia – selitettäviä ilmiöitä – vaan datamassoja joiden säännönmukaisuuksia voidaan tulkita ilmiöiksi ja täten luonnon tapahtumiksi. Tämä ei siis tarkoita, että tieteen tutkijat kieltäisivät ilmiöt, mutta katsovat, että on parempi tutkia maailmaa tiedettävien, ei-tiedettävien ja mahdottomien maailmojen kautta. Biologiset ilmiöt siis manifestoituvat mahdollisuuksien ja välttämättömyyksien kautta, jotka tieteelliset mallit ikään kuin kaappaavat. Monet modernit biotieteet, kuten bioinformatiikka, ovat täysin datavetoisia ja täten ne toimivat edellisen näkemyksen mukaisesti. On vain dataa ja datan-analyysimetodeja. Totisesti, datan ja ilmiön välinen suhde ei ole kovinkaan yksiselitteinen (Bailer-Jones 2009, 166). Bailer-Jones toteaaakin, että ilmiöt manifestoituvat datasta tavalla tai toisella, mutta se ”kuvio”, joka datasta kerätään ilmiöksi, on teoriavetoinen. Kuvio on siis se representaatio, josta voidaan tulkita koko tilanne. On kuvattu, että maailmassa olisi ilmiöitä, jotka teoriat ikään kuin ennustavat (tai luovat) ja mallit toimivat mediaattoreina tämän maailman datamassan ja teorian oletusten välillä. Oli episteeminen asenne mallin, teorian ja ilmiön välillä mikä hyvänsä, niin on kuitenkin selvää, että matka datasta ilmiöön on pitkä, sillä data itsessään ei ole ilmiö. Täten puhutaankin mallien hierarkiasta.

Bailer-Jones esittää, että voidaan esittää datamalli, testausmalli ja teoreettinen malli. Testausmalli yhdistää datamallin teoreettiseen malliin. Se tavallaan paljastaa datasta ”kuvion”. Teoreettinen malli taas antaa suuntaa sille, mitä datamallia tulisi testata. Datamalli taas jäsentää raakaa dataa tavalla, jotta sitä on helpompi käsitellä. Bailer-Jones katsoo, että kolmen mallin hierarkia sitoo tieteellisten mallien luonteen varsinaiseen tieteelliseen toimintaan. Tämä jälleen painottaa sitä, että tieteellinen toiminta mallien, selitysten ja teorioiden kanssa vaati jonkinasteista sosiaalista konstruktionismia ja aktiivista toimintaa. Jos ei ole tulkitsijoita, niin ei ole selityksiä, malleja tai teorioita. Lisäksi ilmiö jää jokseenkin täysin ulkopuolelle. Tämä ei ole ongelma, sillä mallien motivaation suunta on ilmiötä kohti, ei ilmiöstä malliin päin. (Bailer-Jones 2009, 166 – 173).

Anouk Barberousse ja Pascal Ludwig esittävät 1980-luvulta eteenpäin varsin merkittävästi yleistyneen näkemyksen tieteellisistä malleista lähtökohtaisesti fiktioina. Barberousse ja Ludwig toteavat, että ”tieteellinen malli” viittaa niin moniin erilaisiin entiteetteihin, että niistä on hyvin vaikea löytää yhteisiä tekijöitä. Barberousse ja Ludwig kuitenkin huomauttaa, että kaikille malleille on olemassa yhteinen tekijä, ne ovat representaatioita jostakin ja niillä on intentionaalinen sisältö.

Representaatio siis tarkoittaa tässä kontekstissa sitä, että aktuaalinen systeemi mallinnetaan episteemiseksi artefaktiksi, jota voidaan testata, ja intentionaalinen sisältö viittaa siihen, että mallilla on käyttäjänsä ja tulkitsijansa, keillä on omat intressinsä ja agendansa. Aikaisemmissa luvuissa representationaaliset roolit osoittautuivat hyvin monitulkintaisiksi ja äärimmäisen ongelmallisiksi, mutta niiden intentionaalinen sisältö ja tieteen tekijän rooli taas ei. Vaikka kaikki mallit representoivat jotakin tavalla tai toisella (mallit nimensä mukaisesti mallintavat jotakin), niin aina ei ole selvyyttä siitä, mitä malli varsinaisesti on representoimassa. Tämä ei kuitenkaan vaikuta mallin käyttöön tai sen hyödyllisyyteen. Mallin ei tarvitse olla täysin totta tai mallia voidaan jopa tietoisesti käyttää testaamaan tilanteita, jotka ovat konkreettisesti maailmassa mahdottomia. Barberousse ja Ludwig toteavat, että mallit ovat täten fiktioita. Mallit representoivat fiktionaalisia asiantiloja. Ne manipuloivat mahdollisia maailmoja konkreettisten maailmojen sijaan. Ne eivät edes pyri vastaamaan todellisuutta. (Barberousse & Ludwig 2009, 56 – 57).

Fiktioiden ensisijainen etu Barberoussen ja Ludwigin mukaan on se, että ne voivat viitata mielivaltaisesti tyhjiin nimiin eli propositioiden tekijöihin, joille ei löydy vastinetta maailmasta, kunhan vain fiktioiden tulkitsija on tietoinen tästä. Kohteen ja representaation välinen relaatio tavallaan siirtyy tulkitsijan harteille. Tästä seuraten fiktiiviseen malliin voidaan myös lisätä tekijöitä tai poistaa niitä mielivaltaisella tavalla (Barberousse & Ludwig 2009, 59). Mallit kuitenkin rakentuvat pääsääntöisesti empiiriseen dataan ja niistä johdettuihin lakeihin (säännönmukaisuuksien yleistyksiin ja loogisiin välttämättömyyksiin). Tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteikö fiktiivisiä asetelmia voitaisi soveltaa joko mallin testaamiseen tai täyttämään tyhjiä paikkoja jonkinlaisina hypoteettisina paikanvaraajina. Oikeastaan kaikki mallit ovat enemmän tai vähemmän fiktioita, vaikka itse fictionalismi tieteenfilosofiassa on jokseenkin tuore ilmiö. Mallit joita käytetään fysiikassa kuvaamaan vaikkapa kaasuja, voidaan rekonstruoida lukuisilla eri tavoilla. Nämä kaasuja käsittelevät mallit eivät kuitenkaan koskaan (ainakaan toistaiseksi) sisällä kvanttimekaniikkaa ja tuskin kukaan fyysikko kieltäisi sitä, että argon-atomissa on totisesti kvanttitasoinen ilmiöitä. Kaasujen tapauksessa tällä ei ole merkitystä. Ainoastaan atomin (tai molekyylin) massalla, muodolla ja sähkövarauksella on. Huomattava määrä potentiaalisesti käytettävissä olevaa dataa syrjäytetään irrelevanttina selitettävän ja mallinnettavan ilmiön kannalta. Jostakin syystä harvemmin on ajateltu, että tämä irrelevantin datan syrjäyttäminen on itse asiassa fiktioiden luomista, sillä luonnossa ei ole argon-atomeja, jotka eivät kokisi kvanttimekaanisia ilmiöitä. Fiktioon ei siis tarvitse lisätä asioita tai manipuloida niitä tavalla, joka tekisi niistä tarkoituksellisesti mahdottomia. Joidenkin selitettävien ilmiöiden systemaattinen poissulkeminen on yhtä fiktion luomista, kuin ilmiöiden lisääminen tai

manipulointi. Barberousse ja Ludwig esittävät tieteellisten mallien luonnetta vertaamalla sitä karttaan. Toisin kuin esimerkiksi maailmankartta, tieteen kentän kartta ei ole täydellinen (tuskin maailmankarttakaan). Tieteen kentän kartta sisältää paljon alueita, joissa on suuria määriä empiiristä dataa, mutta ei teoriaa; suuria teoriarikkaita tasankoja vailla mitään relaatiota empiirisiin havaintoihin; hypoteeseja joita ei voi testata, ja niin edelleen (Barberousse & Ludwig 2009, 69). Tehdäkseen maailmasta edes jonkin verran ymmärrettävän ja käytännöllisen, tieteilijät olettavat relaatioita asioiden välille täydentääkseen näitä aukkoja. Nämä täydennykset ovat fiktioita. Väitelauseiden ja hypoteesien toteaminen fiktioiksi kiertää kohteen ja sen representaation massiiviset episteemiset ja ontologiset ongelmat. Fiktio voi olla huono, imelä tai mitä hyvänsä, mutta tuskin sitä voidaan syyttää epäuskottavaksi perustuen siihen, että se on fiktio.

Barberousse ja Ludwig esittävät, että episteemisesti epätäydellisessä relaatiossa teorian ja datan välillä mallit ovat suoraan episteemiseltä tyypiltään joko prospektiivisiä malleja tai ns. siltamalleja. Prospektiiviset mallit ovat rakennettu tukemaan teoriaa, jonka vaikutusala ei saavuta empiiristä dataa. Näin teoriasta tehdään malli, jossa on niin paljon hypoteettisia ominaisuuksia, että ne peittävät empiirisen datan allensa. Toisin sanoen prospektiiviset mallit olettavat hypoteettisten tilanteiden olevan tosia, jotta mallia ja näin teoriaa voidaan testata ja tutkimusta ohjata perustuen uskomukseen siitä, miten asiat ovat bona fide. Asetelma on fiktiivinen ja keinotekoinen, mutta sitä ei voida kritisoida perinteisesti, sillä se ei pyri olemaan ontologisesti vedenpitävä. Siltamalleissa taas teoria otetaan annettuina ja teoriaa vastaava empiirinen data oletetaan, vaikka sitä ei ole (jokseenkin päinvastainen tilanne kuin prospektiivisessä mallissa). Teoreettinen fysiikka on täynnä siltamalleja, sillä lukuisat elementaariset partikkelit oletettiin olemassa oleviksi perustuen teoriaan. Vasta useita vuosia myöhemmin teorian ennustamat elementaariset partikkelit kyettiin empiirisesti (suoraan tai epäsuoraan) todistamaan. Kvanttiväriteoria syntyi puhtaasti siten, että elementaaripartikkeleita alkoi tulla ovista ja ikkunoista, eikä tälle näyttänyt tulevan loppua. Näin piti kehittää hierarkia, jolla rajata mahdollisuuksien avaruuksia ns. väriteorialla. Kummatkin mallityypit ovat laajasti käytössä ja nojaavat vahvasti fikcionalismiin, vaikkakin samanaikaisesti edustavat maailman tarkimpia empiirisesti (joskin epäsuorasti) todistettuja teorioista. (Barberousse & Ludwig 2009, 69–70).

Ronald Giere (2009) ei allekirjoita sitä, että mallien yhteydessä tulisi puhua fiktioista, vaikka intuitiivinen motiivi sille olisikin. Giere kysyy, miksi ylipäätään malleja pitäisi pitää fiktioina?

Mallit kuitenkin perustuvat parhaimpaan mahdolliseen tietoon, olkoonkin niin, että niiden totuusarvoa ei voida määritellä. Motiiveiksi tälle Giere esittää, että tiede itse mieltää mallit usein fiktioiksi saadakseen niistä inhimillistä ymmärrystä. Toiseksi monet tieteelliset mallit ovat fysikaalisesti mahdottomia (kuten ideaaliheiluri). Kolmanneksi mallien pitäminen fiktiivisenä voi olla yleinen asenne koskien koko fikcionalismin käsitettä tieteissä. Giere hylkää kaikki kolme motiivia fikcionalismille tieteellisissä malleissa aloittaen tekemällä erottelun tieteellisten mallien ontologialle ja käytännöllisen tieteen funktionaalisuudelle. (Giere 2009, 248).

Giere kysyy, että jos mallit ovat fiktioita, niin ovatko fiktiot malleja? Hänen mukaansa vastaus on kyllä. Esimerkiksi Giere tarjoaa Tolstoy'n teosta *Sota ja Rauha*. Tolstoy on tavallaan luonut mallin mahdollisesta maailmasta. Koska fiktiiviset mahdolliset maailmat, mielikuvitus ja vastaavat ilmiöt ovat ihmismielen tuotoksia, niin sama pätee luonnollisesti tieteellisiin malleihin ja täten Giere katsoo, että niitä tulisi verrata yhdessä. Abstraktit mallit, jos ne eläisivät elämäänsä vain malleina ja niiden tulkintoina, olisivat toki fiktioita. (Giere 2009, 249–250).

Vaikka Giere katsookin fiktioiden ja tieteellisten mallien jakavan saman ontologian, pitää hän niiden funktioita maailmassa yhteismitattomasti erilaisina. Fiktion ja ei-fiktion raja on häilyvä, mutta helposti ymmärrettävä. Fiktioiden genrejä on lukuisia, kuten on lukuisia tieteellisiä mallityyppejäkin, mutta Giere näkee merkittävimmäksi eroksi varsinaisen fiktion ja tieteellisten mallien välillä sen, että tieteelliset mallit pyrkivät representoimaan sitä, miten asiat ovat, ei siten miten asiat voisivat olla. Lisäksi Giere tekee merkittävän erottelun mallin idealisoinnin (ei-olemassa olevan ominaisuuden) komponentin ja fiktiivisen entiteetin välille. Giere esittää esimerkin murtuman mallintamisesta mikrometriluokan kokoisessa piilevyyssä. Murtumakohdan (eli piilevyn ja tyhjiön välisen kohdan) mallintamiselle mahdollisimman tarkasti konkreettista maailmaa representoiden olisivat kvanttimekaniikan mallit. Siirtyessään tyhjiön ja piilevyn rajapinnasta syvemmälle piilevyä pitkin, kvanttimekaniikasta tulee laskennallisesti seuraamaton, joten piiatomien kenttää (kiinteän aineen kemiassa) parhain mahdollinen konkreettista maailmaa representoiva metodi olisi molekylaarisen dynamiikan mallit. Irtautuessaan piilevystä kokonaan ja tehdäkseen siitä erillisen systeemin ja täten tarkkailtavan kohteen kokonaisuudessa, molekylaarisesta dynamiikasta tulee laskennallisesti seuraamaton ja tähän tarvitaan sitten klassista jatkumomekaniikkaa. Vaikka kolme mallintamisen tasoa kuvaavat samaa kohdetta hierarkkisesti, niin mallintamisen tasot ovat toistensa saavuttamattomissa. Ratkaistakseen tämän ongelman ja

tehdäkseen mallista selittävä kaikilla tasoilla, voidaan esittää fiktiivinen komponentti ”silikogeeni”, jolla on yhden protonin atomin ominaisuudet (eli vedyn sillä kyseessä on atomi yksinkertaisimmillaan) ja joitakin merkittäviä piin ominaisuuksia. Silikogeeni voidaan asettaa kvanttimekaniikan ja molekylaarisen dynamiikan väliin paikan täyttäjäksi. Silikogeenin piin ominaisuudet edustavat molekylaarista dynamiikkaa ja vedyn ominaisuudet taas kvanttimekaniikkaa. Näin mallista kokonaisuudessa tulee laskennallisesti seuraava tarkoittaen sitä, että malli tuottaa tuloksen, joka on määrällinen. Giere huomauttaa, että vaikka silikogeeni on fiktiivinen komponentti, niin koko mallia, eli murtunutta piilevyä ei voida pitää fiktiona vaikka se on ideaalimalli. Kyseinen mallinnus on tarpeeksi adekvaatti malli representoimaan konkreettista maailmaa. tieteellisten mallien funktio on erilainen kuin fiktioiden. (Giere 2009, 250–253).

Giere myös huomauttaa, että tieteellisten mallien esittäminen fiktioiksi painaa todella paljon, ei mallien, vaan todellisuuden päälle. Kaikki ihmisten tekemät yleistyksset, mentaaliset kategoriat yms. ovat yleisesti hyväksytyjä arvostelmia todellisuudesta, mutta jos fikcionalismi asetetaan miten esimerkiksi Ludwig ja Barberousse sen esittävät, niin ihmisillä ei ole alun alkaenkaan varaa puhua todellisuudesta. Giere kutsuu fikcionalismin liikettä neo-instrumentalismiksi sen negatiivisesti varautuneimmassa ilmaisussa. Itse kuitenkin näen neo-instrumentalismin positiivisessa valossa biologiassa. Biologia on modaalisten mahdollisuuksien ja välttämättömyyksien sitoma ja täten mallit, neo-instrumentaalisia tai fiktioita tai ei, palvelevat varsin oivasti modernin biologian tehtäviä. (Giere 2009, 255).

5.3 Mallit episteemisinä artefakteina

Bailer-Jonesin näkemystä malleista kuvattiin representationaalisiksi työkaluiksi. Tarja Knuutila vie näkemyksen astetta pidemmälle (fikcionalismin jalanjäljissä) ja kutsuu malleja episteemisiksi artefakteiksi. Artefaktit eivät ole fiktioita, vaan konstruktioita. Ne eivät ole fiktionaalisia kuvauksia, jotka vastaavat todellisuutta bona fide. Ne ovat konstruktioita, jotka kuvaavat todellisuutta samaan tapaan, miten pienoismallit kuvaavat aktuaalista systeemiä.

Knuutila jokseenkin kyseenalaistaa tieteellisten mallien toimivuuden vain representaatioina asiantiloista. Malleja voidaan pitää välittäjinä teorian ja datan välillä, mutta Knuutila esittää, että malleille voidaan antaa itsenäinen status episteemisinä artefakteina (Knuutila 2005, 48). Knuutilan

mielestä mallit toimivat välittäjänä datan (tai maailman) ja teorian välillä juurikin siitä syystä, että ne ovat itsenäisiä entiteettejä. Idealistinen, abstrakti, formaali tai matemaattinen malli voi toimia itsenäisenä välittäjänä, mutta Knuuttila haluaa vetää asian pidemmälle ottamalla huomioon, että malleja käyttävät ihmiset ja ihmiset myös luovat ne. Näin ne ovat tavalla tai toisella konstruktioita tai työkaluja, vaikkakaan ei välttämättä fyysisesti. Ihmistoiminta mallin käytössä luo niistä instrumentteja, jotka eivät loppujen lopuksi poikkea esimerkiksi mikroskoopista. Yksinäinen mikroskooppi ilman käyttäjää ja sen paljastavan datan tulkitsijaa ei ole instrumentti, välittäjä tai mallintaja. Knuuttila käyttää esimerkkinä tietokonemallinnuksia (simulaatioita), jotka palvelevat eri tieteenoilla eri asioita, välittävät eri asioita ja joita manipuloidaan eri tavalla. Jos malli on itsenäinen entiteetti teorian ja datan välissä, niin tämä ei olisi mahdollista, jos malli ei olisi instrumentti. Instrumenttina malli on ihmisen luoma ja täten se on artefakti (Knuuttila 2005, 48 – 49). Yleisesti ottaen Knuuttila painottaa sitä, että tieteellisiä malleja koskeva filosofia on keskittynyt liikaa niiden representationaaliseen rooliin mallien konstruoinnin ja manipuloinnin kustannuksella. Mallit eivät pelkästään tarjoa informaatiota datasta (tai maailmasta), vaan me voimme oppia malleista itsestensä, niillä on episteemistä arvoa suhteessa dataan, teoriaan ja sekä itsenäistä arvoa. Mallin episteeminen arvo ei ole pelkästään se kohde, jota se mallintaa suoraan tai epäsuoraan. Malli itsessään on informaatiota jo sellaisenaan.

Totisesti mallit tarvitsevat niiden syöttämien tulosten tulkitsijan lisäksi myös käyttäjän. Malli on potentiaalisesti toimiva, mutta se edellyttää käyttöä. Malli voi olla informaatiota itsessäänkin esimerkiksi mekanistisesta aspektista, mutta sen funktionaalinen rooli aktualisoituu käytössä ja sen tulosten kasaamisen jälkeen mallilla ei ole enää roolia itse selityksessä tai teoriassa. Näin ollen malli on totisesti rinnastettavissa työkaluun. Instrumentalismi itsessään omaa monta eri merkitystä eri voimakkuuksilla, joten ei ole kovinkaan turvallista asettaa malleja edustamaan instrumentalismia, mutta mm. Knuuttilan esittämä näkemys malleista episteemisinä artefakteina kykenevät kaappaamaan mallien ominaisuudet ja luonteen siten, miten ne soveltuvat jokseenkin ongelmattomasti representaation ja maailman välisten ongelmien, että mallin ja teorian välisten suhteiden ongelmien tapauksille.

Mallit ovat olleet ongelmallisessa asemassa juurikin teorian ja kohteen väliin sijoittuneina. Ei ole selvää, miten mallit representoivat kohdettaan, miten niiden tulisi representoida kohdettaan, mikä niiden suhde on teoriaan tai kohteeseen, ja jopa ovatko mallit itse itsensä kohteita. Fiktionalismi

tarjoaa tietynlaisen sivutien ohittaa nämä monet ongelmat, joskaan se ei korjaa problematiikkaa mallin ja teorian välillä. Toisaalta semanttinen tulkinta pitää teoriaa joukkona malleja, mutta tässä tapauksessa on vaikea päätellä sitä, kumpi oli ensin, teoria vai malli. Lisäksi tieteellisten selitysten ja tieteellisten mallien välinen rooli on kyseenalainen, sillä kummatkin näyttävät suorittavan samaa funktiota. Vaikuttaa kuitenkin siltä, että selitysten muuntautuminen malleiksi on datavetoisen tieteen kehityksen tulos ja metodin muutos sen sijaan, että jotakin tieteen filosofisesti järjestyttävää muutosta olisi tapahtunut. Kuitenkin informaation massiivinen määrä ja sen analysointimetodit ja lähes utopistiset tulokset asettavat teorioiden, mallien ja selitysten roolit kovan paineen alle, sillä pian voi hyvinkin olla mahdollista, että tieteenfilosofit, sen enempään kuin tieteilijät, eivät kontrolloi sitä, miten tiede kehittyy. Allekirjoittaneen mielestä vaikuttaa siltä, että joko vakava ontologisen kannan rakentaminen tai täysi neo-instrumentalismi lienevät suunnat, joihin tieteenfilosofia koskien kyseistä kenttää mallien epistemologiassa tulee ajautumaan. Tarja Knuuttilan esittämä näkemys malleista episteemisenä artefakteina on tyydyttävä välitilan kanta, jossa mallia ei altisteta ongelmille, jotka enemmän tai vähemmän ovat riippumattomia mallista itsestään. Biologiassa ne olisivat episteemisiä instrumentteja kuvaamaan ja ohjaamaan bioteknologista manipulaatiota synteettisestä biologiasta puhumattakaan. Selvää on kuitenkin se, että mallit eivät ole vain monimutkaiseen haarniskaan puettuja deskriptiivisiä mitä-jos-väitelauseita.

6 Mallit, selitykset ja systeemit biologiassa

Lukijalle lienee käyneen selväksi, että mekanismeita ja systeemiä käytetään jokseenkin synonyymeinä. Tämä ei ole sinänsä yllättävää, sillä mikä tahansa mekanismi on systeemi, ja mikä tahansa systeemi on myös mekanismi. Tämän tekstin kannalta on kuitenkin syytä tehdä jonkinlainen erottelu, sillä vaikka mekanismeilla ja systeemeillä on sama rakenne, niitä käytetään eritavalla. Tästä edespäin systeemi on se makromekanismi, joka suorittaa funktiota, jota sen osat eivät suorita, ja systeemin selitys on systeemin toiminnasta vastaavien mekanismien mekanistinen selitys. Systeemit ovat siis se aparaatti, joka mahdollistaa mekanismin suorittavan funktion. Koska systeemit ovat äärimmäisen monimutkaisia, niin mekanistiset selitykset tyypillisesti mallinnetaan, sillä mekanismien osat ja niiden funktionaalisten roolien määrä ylittää ihmisen kognitiiviset kapasiteetit, jotta tämä voisi tehdä selitysten lisäksi ennustuksia, jotka ovat oleellisessa osassa systeemibiologiaa ja biologisten systeemien kuvausta, tunnistamista ja selittämistä. Toiseksi systeemiorientaatio on liputtanut paljon holismin puolesta, joskin ei niinkään anti-reduktionismin puolesta. Puhuminen systeemeistä mekanismeina saattaisi hämärtää tätä erottelua. Systeemiorientoituneen biologian (tai systeemibiologian) tarkoituksena on ymmärtää monimutkaisia relaatioita systeemistä vastaavien mekanismien osissa siten, että pelkän tiedon ihanteen lisäksi

ymmärrys tarjoaisi mahdollisuuksia manipuloida mekanismeja esimerkiksi farmakologisesti jne. Systeemeillä on myös aitoja emergenttejä ominaisuuksia, jotka eivät paljastuisi pelkästään tarkastelemalla sen mekanismien itsensä ominaisuuksia. Niitä funktioita joita osat toteuttavat. Tätä ei sovi ottaa liian kirjaimellisesti, mutta voisi esittää ajattelua helpottavan asetelman, jossa systeemi on entiteetti ja/tai olio ja mekanismi olisi akti. Systeemi on siis se aparaatti, joka toteuttaa funktion, ja tämä akti joka aktualisoi funktion, on taas mekanismi. Tässä luvussa käsittelen varsinaisesti systeemien ja mekanismien ontologiaa ja epistemologiaa koskien mallien ja selitysten asemaa systeemiorientoituneessa biologiassa (tai systeemibiologiassa). Kaiken kaikkiaan voidaan katsoa, että systeemibiologia on uusin biologian haara, jossa selitykset, mallit ja systeemit joutuvat huolelliselle koetukselle. Kuten aikaisemmin mainittua, tiede itsessään ei tarvitse teoriaa tieteestä, joten katson ottaa systeemibiologian juuri tietäntyyppiseksi malliesimerkiksi siitä, miten selitykset, mallit ja systeemit käyttäytyvät biologiassa.

6.1 Systeemit ja mekanismit

Mekanismin ja systeemin käsitteellinen ero perustuu hyvin pitkälti systeemitieteisiin, joka on tieteenalue erikoistuneena systeemeihin ja niiden manipuloimiseen mm. matemaattisin metodein. Motiivi systeemitieteille periytyi insinööriikasta, mutta sen sovellusalat ovat kasvaneet koskemaan mm. kokonaisia yhteiskuntia, maailmantaloutta ja oikeastaan mitä tahansa, jossa on kaksi tai useampi ”liikkuva” osa tai muutokselle altis muuttuja. Tyypillisesti systeemiteorian pohjana on ajatus siitä, että tiettyjen asioiden tutkiminen, kuvaaminen, selittäminen ja ennustaminen vaativat systeemiperspektiivin ja täten oman tieteenimityksensä riippumatta siitä, sovelletaanko systeemiteoriaa aurinkokuntaan, organisaatioon, vai tietyn proteiinin synteisiin. Systeemiteoria myös luokittelee lukuisia erilaisia systeemejä ja tyypillisesti mikä tahansa asia maailmassa edustaa kaikkia systeemityyppejä, mutta systeemityypin valinta määrittelee tutkimuksen kohteen, johon voidaan soveltaa mekanistisia selityksiä. Mitä tahansa voidaan pitää esimerkiksi kontrollisysteeminä tai dynaamisena systeeminä, tai kumpanakin samanaikaisesti. Esimerkiksi käsiase (pistooli) on kontrollisysteemi perustuen sen liipaisin-lataus-tekniikkaan, mutta se on myös avoin systeemi, sillä pistoolit eivät ole eristettyjä ympäristöstä. Kuitenkin tutkiakseen kontrolliteoreettista ominaisuutta, voidaan tutkimuksen nimissä pistooli mieltää eristetyksi systeemiksi jne. Systeemiteoria on siis tutkimusmetodologinen tapa rajata tutkittavan kohteen relaatioita mm. ympäristöönsä. Systeemiteoria on lähtökohtaisesti metatiede, jonka tarkoitus on tarjota työkaluja eri tieteenaloille käsitellä kulloistakin (kuten biologista) systeemiä tietyn

yhtenäisen metodologian mukaan. Toki monet eri ilmiöt edellyttävät erityislaatuista systeemimetodeja, mutta idea on dynaamisten ja kokonaisten (holististen) systeemien (ja täten mekanismien) ymmärtämisessä, sillä perinteisesti tiede on ollut jokseenkin takavetoista ja historiallista. Siinä missä mekanismit ovat akteja tai prosesseja, systeemit ovat niitä osia, jotka ovat vastuussa tai mahdollistavat nämä aktit ja prosessit. Tämä on hyvin lähellä sitä erottelua, mitä tekstin aikaisemmissa osissa esitettiin mallin ja selityksen välille. Mitä biologiaan tulee, niin selitys on mekanismi ja mekanismista vastaava malli on systeemi. (Mobus & Kalton 2015, 3 – 4).

Mobus ja Kalton (2015) pitävät systeemiteoriaa (tai systeemitiedettä) ”universaalina tieteenä”, sillä sitä voidaan soveltaa kirjaimellisesti mihin tahansa asiaan maailmassa, sillä mikä tahansa asia maailmassa voidaan mieltää systeemiksi. Toisin kuin perinteiset tieteet, systeemiteoreettinen lähestymistapa kulloistakin tarkasteltavaa tiedettä kohtaan ei toimi lineaarisanalyttisesti selittäen kausaalisia jatkumojia, vaan Mobus ja Kalton toteavat mekanistisen selitysmallin (1970-luvun jälkeen) tarjonnan tieteelle mahdollisuuden tarkastella ilmiöitä kontrollin ja ennustuksen kautta holistisina kokonaisuuksina (Mobus & Kalton 2015, 9). Mobus ja Kalton kuitenkin huomauttavat, että kaaosteoria ja tietokoneprosessoinnin odottamattoman nopea kehitys on tehnyt jopa perinteisestä mekanistisesta tieteentekemisestä hyvin vaikeaa, johtuen puhtaasti datan määrästä. Epälineaarinen prosessointi ja tietokonesimulaatiot ovat välttämättömiä nykyaikaisten systeemien tarkastelussa, eikä biologia ole tässä poikkeus. Näiden toteuttaminen edellyttää (Mobuksen ja Kaltonin mukaan) systeemitiedettä metatieteenä minkä tahansa asian tutkimiseen. Systeemit ovat siis äärimmäisen monimutkaisia epälineaarisia mekanismeja (ja niiden alimekanismeja), joiden prosessointi edellyttää systeemiteoreettista katsontakantaa perinteisen tieteentekemisen sijaan. Onko mekanismi systeemi ja vice versa? Kyllä, mutta ajatus on siinä, että systeemeihin sovelletaan systeemijattelua ja mekanismeihin mekanistista selitystä. Systeemiteoria tarkastelee siis systeemejä (eli makromekanismeja tai selitettävää mekanismia) holistisesti. Systeemiteoria tunnustaa osien ja niiden funktionaalisten roolin toteuttavan makromekanismin, mutta ymmärtääkseen makromekanismin, eli systeemin, toimintaa, tulee sitä tarkastella holistisesti perinteisen reduktionistinen tai kuten Mobus ja Kalton kuvaavat: ”atomistinen näkemyksen” sijaan (Mobus & Kalton 2015, 12).

Koska systeemitiede tai teoria on sateenkaaritermi kuvaamaan näkemystä, jonka minkä tahansa tieteenalan tutkija voi ottaa, katsovat Mobus ja Kalton tarpeeksi luokitella 12 ominaisuutta, joita systeemillä ja vain systeemeillä riippumatta tieteestä on:

- Toisiinsa liittyneet relaatiot osien välillä toteuttavat holistisen yksikön ja nämä yksikön osat ovat kykeneväisiä kommunikoimaan (ja täten vaikuttamaan) toisten systeemien kanssa.²¹
- Mahdollisesta fysikaalisesta olemuksesta riippumatta, systeemit ovat prosesseja, jotka ovat organisoituneet sekä rakenteellisesti että funktionaalisesti.
- Systeemejä voidaan representoida abstraktisti perustuen osien väliseen vuorovaikutukseen.
- Systeemit ovat dynaamisia ja niiden tila muuttuu ajan kuluessa, niiden toteuttaessa vuorovaikutusta osien tai toisten systeemien kanssa.
- Systeemeillä on yksi tai useampi kompleksisuuden tasoa.
- Systeemit kehittyvät (suhteessa siihen, että ne ovat dynaamisia).
- Systeemit sisällyttävät, saavat ja lähettävät informaatiota.
- Systeemeillä on systeemin tilaa sääteleviä alisysteemejä, jotta ne ovat tarpeeksi stabiileja

²¹ Mekanismit eivät edellytä holistisuutta.

- Systeemeissä on malleja toisista systeemeistä, eli systeemi sisältää informaatiota siitä, minkälaista informaatiota se on vastaanottamassa, tai minkälaista informaatiota se on lähettämässä (toiselle systeemille).²²
- Tarpeeksi kompleksi tai adaptiivinen systeemi voi sisältää mallin itsestään (esim. metakognitio avioissa tai universaali Turing kone).
- Systeemit voidaan ymmärtää tieteellisesti.
- Systeemejä voidaan parantaa (insinöörisesti tai adaptiivisesti).

(Mobus & Kalton 2015, 20)

6.1.1 Systeemiajattelun filosofiaa

Systeemeistä ja mekanismeista voidaan olla montaa mieltä, mutta kummallakin tekijällä (oltiin niiden identiteetistä mitä mieltä hyvänsä) ovat ominaista rakenne, organisaatio, interaktio ja käyttäytyminen toisten systeemien kanssa avointen systeemien tapauksessa (joita kaikki biologiset systeemit ovat) (Mobus & Kalton 2015, 72). Mobus ja Kalton hakevat sitä luonnetta, joka tekee systeemistä entiteetin, oli tämän hierarkia tai kompleksisuus mikä hyvänsä. Mobus ja Kalton aloittavat systeemin (hyvin vaikean) määrittelemisen sillä, että ollakseen systeemi, täytyy olla jotakin objektiivista, joka koostuu toisista toimintansa kannalta riippuvaisista osista tai elementeistä, joiden hierarkia keskenään on sellainen, että toisenlainen hierarkia muuttaisi kyseisen ilmiön käytöstä ja täten itse systeemiä (Mobus & Kalton 2015, 74).

Mitä mekanismeihin tulee, niin varsinaista eroa ei ole. Mekanistinen selitys sen sijaan selittää edellisessä kappaleessa lueteltujen tekijöiden toimintaa perustuen niiden interaktioon, mutta systeemi on enemmän tai vähemmän objektiivinen olio, johon tätä selittämistä voidaan soveltaa. Huomioitavan arvoista on se, että systeemin osilla on täsmälleen samat ominaisuudet, kuten systeemillä itsellensä ja täten mekanismi jakaa samat ominaisuudet mekanismin osien ja selitysten

²² Tämä ominaisuus on ilmeinen biologiassa etenkin niin, että biologiset prosessit ovat hyvin helposti tulkittavissa teleologisesti. Täten ei liene myöskään yllättävää, että funktionaaliset selitykset esitetään usein rinnakkain teleologisten tai seurausetiologisten selitysten kanssa.

kanssa. Systeemin määritelmä ei loppujen lopuksi riipu siitä, mitä maailmasta löytyy, vaan mikä on kunkin tarkastelun kohde ja täten systeemi ja mekanismi ovat hyvinkin lähellä toisiaan. Ei ole systeemiä, joka ei olisi osa jotakin suurempaa systeemiä, ja täten tarkastelijan rooli määrittelee sen, mikä on systeemi ja mikä on sen mekanistinen selitys. Mainittakoon, että lukuisia formaaleja systeemin määrittämiä on tehty. Yksi näistä on mm. Donella Meadowsin määritelmä, mutta tämän tekstin kannalta formaalit määritelmät eivät ole relevantteja. (Mobus & Kalton 2015 75).

Systeemin rajat ovat jokseenkin vaikea määrittellä, sillä avoimilla systeemeillä niitä ei varsinaisesti ole ja suljettu systeemi on aina tutkijan määriteltävissä (tähän palataan luvussa 6.4). Aikoinaan käytettiin termiä ”musta laatikko” kuvaamaan systeemin käyttäytymistä ymmärtämättä sitä mekaanisesti. Tämä perspektiivi tarkastelee systeemiä ulkoapäin, eikä ota sitä kokonaisuutena ja ympäristönsä kanssa monimutkaisesti vaikuttavana toimijana. Eräs tapa määrittellä ”mustaa laatikkoa” on kontrolloida sitä, mitä systeemi saa vasteenaan ja mitä se antaa syötteenään – tietynlainen suoran mekanismin manipuloiva metodi.²³ Mitkä muuttujat muuttuvat mistäkin ja mitkä pysyvät samana. Tämä data antaa informaatiota siitä, mitä systeemi tekee välttämättä ja mitä se ei ainakaan tee riippumatta siitä, tunnetaanko systeemin mekanismia lainkaan. Toisin sanoen systeemin normaalia käyttäytymistä häiritään määrittäminen tavat, miten systeemi käyttäytyy (ja täten mekanismit) kussakin tilanteessa. Ajatus siitä että systeemin ”mustan laatikon” sisällä totisesti on mekanismeja, systeemin näennäinen satunnainen käyttäytyminen ei välttämättä olekaan satunnaista, ja systeemin sisäisen tilan tunnistaminen antaa mahdollisuuden tarkastella systeemiä mekanististen selitysten kautta. Ongelma on lähinnä siinä, että nämä mekanismit vaativat useamman ”toimintakerran” ja täten mekanismin varsinainen ilmiö voi ilmetä vasta tuhansien, ellei satojentuhansien simulaatioiden jälkeen. Tämä on myös eräs motivaatio soveltaa kehittyneitä matematiikkaa selittämään systeemitieteitä kuten systeemibiologiaa. (Mobus & Kalton 2015, 79 – 80).

Systeemitieteet ovat holistisia ja niiden erityistapausten tutkimisen rajaaminen koskien tiettyjä asioita on itse asiassa eristettyjen systeemien luomista ja maailmassa ei ole eristettyjä systeemejä. Täten systeemitieteet ovat enemmänkin episteemisesti perustuneita, kuin ontologisesti. Lienee syytä huomioda, että tämä on allekirjoittaneen näkemys. Moni systeemibiologi ei allekirjoittaisi tätä.

²³ On systeemi, mutta ei tiedetä mikä se on ja syötetään sille mitä hyvänsä ja katsotaan mitä tulee ulos.

Toki todellisuus (miten se sitten määritellään) on olemassa ilmiöiden syy-seuraus-suhteiden valossa, joita on helppo testata käytännössäkin, mutta selityksen filosofian tasolla systeemitieteet ovat episteemisiä. Ymmärtääkseen biologiaa, pitää tutkijan ymmärtää kemiaa, mutta kemia itsessään ei riitä selittämään biologisia ilmiöitä. Mobus ja Kalton (2015) esittävät, että on lisättävä eräs ontologinen taso, joka kulkee nimellä informaatio. Informaatiota pidettäisiin adekvaattina ontologisena tasona. Täten epistemologia tavallaan sisältyy systeemitieteiden ontologiaan (Mobus & Kalton 2015, 83). Systeemibiologian mallien seuraukset voivat olla merkittäviä konkreettisesti maailmassa esimerkiksi uusien lääkkeiden valossa, mutta varsinainen systeemibiologinen työ tapahtuu informaatiotasolla. Kysymys kuuluu, pidetäänkö informaatiota aktuaalisena oliona, vai episteemisenä oliona?

Mitä informaatioon tulee, datasta tulee informaatiota jos ja vain jos jokin tulkitsee sen. Oli systeemin (ja tämän mekanismin) ontologinen status mikä hyvänsä, niin informaatio systeemistä on aina tietoa mekanismista. Kirjoitus paperilla on dataa, kunnes joku tulkitsee sen ja täten siitä tulee informaatiota. Informaatiolla (suhteessa dataan) voi olla odottamattomia seurauksia ja nämä seuraukset ovat johdantoja, joita tulkitsija ei osannut odottaa datasta. Tätä informaatiota taas voidaan kutsua tiedoksi. Melun ja datan ero on tulkitsijan kyky tehdä erottelu, mikä on merkityksellistä ja mikä ei (Mobus & Kalton 2015, 85). Tieto on se pohja, jota vastaan uutta informaatiota voidaan verrata ja analysoida siten, onko se merkityksellistä vai ei. Ihmisten toiminta, datan keräys, informaation rakennus ja konsensus ”tiedosta” on jatkuvaa prosessointia. Asiat maailmassa, jotka olivat odotettavissa, voidaan tulkita yksinkertaisiksi systeemeiksi, kun taas odottamattomat seuraukset viittaavat enemmän systeemien ”mustiin laatikkoihin”. Data, informaatio, ja tieto luovat jatkuvasti toinen toistaan tukevia takaisinsyöttösystemejä (episteemisiä), jotka tekevät tiedosta entistä enemmän vahvempaa ja modaalisesti rajoittavat mahdollisuuksien avaruutta suhteessa tulevaisuuden työhön. Teknologia ja metodologia on kehittynyt niin paljon, että ihmisten kognitiivinen kapasiteetti ei enää kykene pysymään perässä. Kyseisestä ilmiöstä on käytetty ilmaisuja kuten ”omiikoiden aika” ja tieteenalana ”bioinformatiikka”. Systeemibiologia on pyrkimys palauttaa tätä data ja informaatiomassa systeemitieteen avulla ihmisen ymmärrettäväksi systeemitasolla ja luoda malleja, joiden avulla kaikkea tätä omiikoiden dataa voidaan mielekkäästi manipuloida ja luoda uusia emergenttejä ominaisuuksia, joita ei osattu odottaa.

6.2 Systeemibiologian luonteesta

Systeemibiologian perimmäinen tarkoitus on ymmärtää, miten biologisen systeemin osat ja niiden funktionaaliset roolit aktualisoivat elävän organismin (Boogerd 2007, 3). Systeemibiologian data on molekyylibiologia ja sen projektityyppinen seuraaja bioinformatiikka. Systeemitason tulkinta on edellytettävä (esimerkiksi reduktionismin sijaan), sillä biologisten systeemien monimutkaisuus on niin suuri, että mikään perinteinen lineaarinen katsontakanta on täysin riittämätön. Monesti matemaattinen mallintaminen on edellytettävä käsittelemään toimijoiden yksinkertaisesti ylivoimaista määrää. Näiden matemaattisten funktioiden välisiä relaatioita kuvataan taas systeemien verkostoina. Boogerd kumppaneineen (2007) uskoo, että sillä systeemibiologia on monitieteellinen ala, niin kysymys kuuluu, tuleeko sitä tarkastella eri tieteiden yhtenäisenä projektina, vai omana tieteenään jolla on oma perusta. Boogerd kumppaneineen uskovat, että tämä oma perusta on filosofia ja systeemibiologia itsessään on biologian kulminoituma.

Jos verrataan systeemibiologiaa ja sen vierellä toimivaa molekyylibiologiaa, molekyylibiologia on suhteellisen suoraviivaista. Sen ei periaatteessa tarvitse kuin tunnistaa, listata ja nimetä toimijoita, sekä modaalisia prosesseja.²⁴ Näiden listojen tietynlainen ”tietopankki” tai luokittelujärjestelmä on taas bioinformatiikan (ja ns. ”omiikoiden”) erikoisalaa. Vaikka hyvinkin monimutkainen empiirinen tiede, molekyylibiologia itsessään ei sisällä mitään erikoisasennetta suhteessa eläviin olentoihin, jotka kuitenkin koostuvat molekyyleistä, joita molekyylibiologia tutkii ja bioinformatiikka tallentaa katalogimaisesti ja prosessoi. Systeemibiologia sen sijaan on kiinnostunut molekyylien ja niiden rakenteiden, kuten proteiinien ja kokonaisten solujen välisistä vuorovaikutuksista, jotka eivät ilmene kvantitatiivisessa molekyylibiologiassa. Systeemibiologia kysyy, minkälaisia suhteita ja prosesseja tulee ei-elävillä molekyyyleillä olla, jotta emergoituu systeemi, joka voidaan mieltää eläväksi? Näitä relaatioita kuvataan malleilla ja täten mallintamisella on merkittävä rooli metodologisesti, että filosofisesti systeemibiologiassa. Koska mallien tehtävä on selittää ja ennustaa, niin tieteellisellä selityksellä tai selityksen teorialla on täten myös merkittävä rooli. Systeemibiologian teesi on se, että biologisissa systeemeissä – kuten soluissa – on prosesseja, joita ei voida löytää (tunnistaa) ja selittää perinteisellä molekyylibiologialla. Boogerd kumppaneineen

²⁴ Modaalisella prosessilla tarkoitan sitä, että perustuen atomien ominaisuuksiin, molekyyyleilla on reaktioita suhteessa toisiinsa, jotka ovat välttämättömiä, jos tietyt ehdot täyttyvät ja potentiaalisia mahdollisia ominaisuuksia. Käytän mieluummin ilmaisua ”modaalinen” ontologisen sijaan, sillä prosessin ei välttämättä tarvitse koskaan tapahtua, ollakseen mahdollinen tai välttämätön.

huomauttaa, että kaikki elävät systeemit kuitenkin koostuvat molekyyleistä, niin tässä on paradoksi. (Boogerd et al. 2007, 3 – 7).

Holistisessa perspektiivissä lähtökohtana on ajatus siitä, että systeemi kokonaisuudessaan vaikuttaa merkittävästi siihen, miten sen osat toimivat ja tämä taas vaikuttaa siihen, miten systeemi kokonaisuudessaan toimii. Kyseessä on siis epälineaarinen, dynaaminen systeemi, joka omaa transaktionaalisia ominaisuuksia. Perinteinen reduktionistinen lähentymistapa ei kykene selittämään moista käyttäytymistä ja nykyään esimerkiksi epigenetiikan saralta ymmärretään, että elävien organismien koko olemassaolo perustuu edellisen kaltaiselle toiminnalle (Boogerd et al. 2007, 11). Osien eristäminen ja tutkiminen eristettyinä kokonaisesta systeemistä, jonka osia ne ovat, kadottaa merkittävin määrin systeemin itsensä ominaisuuksia. Systeemibiologia itsessään ei kuitenkaan ota täysin reduktionistista tai antireduktionistista (holistista) kantaa, jossa reduktionismi nähdään tietynlaisena ”ei ole muuta kuin”, tai holismi ”kaikki tai ei mitään”. Boogerd kumppaneineen katsoo, että mekanistiset selitykset eivät ole reduktionistisia tai holistisia. Ne toimivat kaikilla ”tasoilla”. Lisäksi mekanismit tarjoavat metodologisen edun, sillä tutkimuksissa voidaan käsitellä mahdollisia, uskottavia, tai aktuaalisia mekanismeja. Täten mekanistinen selitys on läsnä systeemibiologiassa, sikäli kun ollaan selittämässä jotakin. Mallintaminen sen sijaan operoi systeemitasolla.

Kun lähtökohtana selityksenä systeemibiologiassa on mekanistinen selitys, niin herää kysymys, miten puhua kausaalisuudesta kompleksisissa systeemeissä, joita esimerkiksi solut ovat? Boogerd kumppaneineen painottaa, että solujen makromolekyylit ja niiden väliset äärimmäisen monimutkaiset epälineaariset verkostot ylittävät ihmisen kognitiivisen kapasiteetin niin ylivoimaisesti, että matemaattiset mallit ovat välttämätön työkalu tutkia biologisia kompleksisia systeemejä. Lisäksi matemaattisilla malleilla pystytään tuottamaan intuition vastaisia tuloksia, jotka normaalissa analyysissä olisivat jääneet havainnoimatta. Pitää ottaa huomioon, että kaikki tutkimus, joka on suoritettu *in silico*, on simulaatiota ja simulaatio on mallintamista. Täten systeemibiologia toimii hyvin pitkälti *in vitro* ja *in vivo* sijaan *in silico*. Systeemibiologia ja muut ns. post-genomiikat (kuten kaikki ”omiikat”) ovat datavetoisia. Jos tiede on teoriavetoinen, niin teoriasta johdetaan hypoteeseja ja näitä hypoteeseja testataan. Datavetoisissa tieteissä ja etenkin systeemibiologiassa (ja omiikoissa, jotka siis ovat bioinformatiikan ”datapankkeja”) datan määrä suhteessa käytössä oleviin teorioihin on yksinkertaisesti niin suuri, että hyvä hypoteesi edellä mainitussa tieteessä on itse

asiassa lopputulos, ei tutkimuksen ja testaamisen alku. Hypoteesit ovat tarkoitettu testattavaksi ja tämän testaamisen tulisi lisätä tukea teorialle tai heikentää sitä. Miten tulisi testata hypoteesia, joka on itse asiassa tutkimuksen tulos? Eräs tapa ja etenkin tietokonesimulaatioiden kanssa pelatessa on muuttujien kontrolloimisen ja manipulaation sijaan luoda harjoituskenttä, tietynlainen mahdollinen maailma, jossa tuloksena rakentunut hypoteesi alkaa käyttäytymään siten, miten hypoteesin parametrit (kuten orgaanisen kemian molekulaariset ominaisuudet) sen sallivat. Tätä käyttäytymistä tutkimalla pystytään etsimään säännönmukaisuuksia, jotka olisivat jokseenkin yleistettävissä ja näistä säännönmukaisuuksista, jotka perustuvat tietyille parametreille, voidaan ikään kuin konstruoida mekanismin funktionaalisia osia. Harjoituskenttä myös toimii myös tietyllä tapaa mereologisen emergenssin mukaisesti siten, että tuloksena saadun hypoteesin ja tämän parametreja noudattava käyttäytyminen ei aktualisoituisi ilman ympäristöä eli luotua harjoituskenttää. Näin myös saadaan hypoteettinen, mutta *in silico* -tapaan aktuaalinen ympäristö systeemille, jossa se toimii tietyllä tavalla. Tilanne on näin jokseenkin realistinen luonnollisten ilmiöiden kanssa, kuten aikaisemmassa luvussa mainittu tapaus, jossa mitokondrio ei ole mitokondrio, jollei se ole solussa. Joka tapauksessa, datavetoinen tutkimus on aluksi hypoteesivapaata ja täten hypoteesit ovat tuloksia, jotka lopuksi voidaan integroida johonkin ideaan sen sijaan, että ensin olisi teoria, sitten hypoteesi ja lopuksi testaus joka antaa tukensa teorialle jos luoja suo. Luvussa 6.4 käsittelen teorian asemaa systeemibiologiassa tarkemmin, mutta ei käy kieltäminen, että omiikat tai bioinformatiikka on systeemibiologian datan lähde. (Westerhoff & Kell 2007, 50 – 55).

6.2.1 Ylhäältä alas -analyttinen ja alhaalta ylös -synteettinen strategia

Analyttinen strategia (tavallaan selityksen suunta) systeemibiologiassa aloittaa systeemistä kokonaisuudessaan tietyllä tavalla holistisesti ja etenee kohti molekulaaristen systeemien mekaniikkaa. Kyseisen strategian idea on yleistää ilmiöiden ilmenemisen todennäköisyyksiä perustuen joihinkin olosuhteisiin, joihin koko systeemi itsessään (oli se sitten ribosomi tai kokonainen aiotumallinen solu) altistuu. Kuten aikaisemmin mainittua, solu- ja molekyylibiologiassa käsitellään arvoja stokastisesti ja vaikuttavia tekijöitä tyypillisesti pitoisuuksina diskreettien lukumäärien sijaan. Täten muuttujat ovat suhdearvoja ja paljastavat mekanismien verkostoja suorien kausaalisten ketjujen sijaan. Synteettinen strategia (joka ei missään nimessä poissulje analyttistä strategiaa) taas aloittaa molekyyleistä tai molekulaarisista rakenteista ja tutkii niiden välistä vuorovaikutusta yksinkertaistetussa skeemassa pyrkien löytämään joitakin emergenttejä ominaisuuksia, jotka aktualisoivat kokonaisen systeemin käyttäytymistä (tämä

edellyttää lähes poikkeuksetta mallintamista simulaatioilla). Oli strategia kumpi hyvänsä, on melko helppo huomata, että analyttisessä tai synteettisessä strategiassa lähtökohtana ei ole hypoteesi. Synteettinen strategia pyrkii siis rakentamaan mahdollisia emergenttejä ilmiöitä, jotka toimivat systeemin funktionaalina rooleina ja osina jotka aktualisoivat niitä, kun taas analyttinen strategia ainakin katsoo poimivansa jonkin tietyn ”aidon” ominaisuuden ja alkaa käänteisellä insinööriikalla selvittämään niitä osia ja funktioita, jotka vastaavat kyseisestä ominaisuudesta tai ilmiöstä. Kumpikin strategia on hyppy tuntemattomaan, sillä kummassakaan strategiassa ei varsinaisesti tiedetä, mitä ollaan etsimässä.

Synteettinen strategia johtaa oletukseen, että jos jokainen osa ja niiden väliset interaktiot mallinnetaan tavalla tai toisella (nykyisen teknologian valossa in silico), niin niiden yhteen saattaminen ja interaktioiden ”käynnistäminen” johtaa väistämättä uusiin emergentteihin ominaisuuksiin, joita kokonaisen systeemin osilla ei itsellään ole. Totisesti, levän glykolyysi (mekanismi joka mahdollistaa anaerobisen energiansaannin) voidaan selittää ja ennustaa synteettisen alhaalta ylös -strategian mukaisesti virheettömästi. Matka aitotumallisen kokonaiseen mallintamiseen on pitkä, mutta periaate on sama. Westerhoff ja Kell (Westerhoff & Kell 2007, 56) esittävät, että ominaisuudet jotka tällä strategialla emergoivat, eivät ole selitettävissä osilla ja niiden funktioilla itsellensä ja täten kyseessä on aito emergentti ilmiö, vaikkakin mereologinen sellainen. Lisäksi solubiologiassa monet ilmiöistä ”vastaavat” makromolekyylit muuttavat toisten molekyylien tilaa, jotka useiden kausaalismekanismisten ketjujen kautta vaikuttavat tähän ensimmäiseen makromolekyyliin esimerkiksi hiljentävästi, aiheuttaen näin dynaamisen syklin jota ei voi selittää lineaarisesti. Näin ollen johonkin tiettyyn prosessiin osallistuva makromolekyyli, systeemin osa ja funktion aktualisoija ei kykene toimimaan, ja näin ollen olemaan selityksen osa ilman muita osia. Tämä piirre tekeekin juuri elämäntieteistä, kuten biologiasta selityksellisesti ja mallintamisen kannalta hyvin erilaisen esimerkiksi verrattuna fysiikkaan. Boogerd kumppaneineen käyttääkin ilmaisua, että puhtaasti reduktionistinen mallintaminen biologisista prosesseista ovat tietyllä tapaa ”jäätäneitä ympäristöjä”, eivätkä ne pystyisi mallintamaan biologisia prosesseja dynaamisina systeeminä – mekanismeina jotka käyttävät omia vasteitaan (output) monen mutkan kautta myös omina syötteinään (input).

Systeemibiologiassa parametri on jokseenkin muuttumaton ominaisuus – tietynlainen ympäristövakio tai solujen tapauksessa pitoisuus. Muuttujat ovat taas niitä tekijöitä, jotka saavat

vaihtelevia arvoja kokeen tai ilmiön tapahtuessa – esimerkiksi proteiinisynteesissä tai sen *in silico* -mallintamisessa. Systeemibiologian käsittelemät systeemit ovat äärimmäisen monimutkaisia ja muuttujia on hyvin suuri määrä ja niiden mallintamista ei helpota monimutkaiset takaisinsyöttöön perustuva dynaaminen luonne. Täten matematiikalla on perustavanlaatuinen rooli systeemibiologiassa kuten myös kaikissa systeemitieteissä. Kuten mainittua, systeemibiologia on datavetoinen ja massiivisten datamäärien seasta on lähes mahdotonta systemaattisesti etsiä korrelaatteja ilman matemaattisia työkaluja ja perustuen juuri datan suureen määrään, tämän matemaattisen osuuden suorittaa tietokoneet, sillä datan määrä ylittää ihmisen (tai useiden ihmisten) laskukyvyyn. Suurella datamäärällä on myös etunsa. Olisi hyvin aikaa vievää ja kallista tehdä *in vitro* -kokeita molekyylibiologian saralla, jos datamäärä on tarpeeksi suuri ja matemaattiset työkalut tarpeeksi hyviä, että voidaan luoda virtuaalisia koeasetelmia ja testata käyttäytymistä, löytää hypoteeseja ja lopuksi testata näitä hypoteeseja muuttamalla parametreja tai muuttujia. Kokonaisvaltaisessa tietokonesimulaatiossa systeemin holistinen luonne säilyy, vaikka muuttujat ovatkin lähtökohtaisesti alhaalta ylös -synteettisiä. Systeemibiologian emergenttien ominaisuuksien kannalta matemaattisissa simulaatioissa merkittävää on se, että jos simulaation parametrit ja muuttujat ovat oikein, niin uusien odottamattomien emergenttien ominaisuuksien ilmeneminen on välttämätöntä.²⁵ Tutkijat voisivat toki manipuloida parametreja ja muuttujia siten, että nämä ilmiöt eivät toteutuisi, mutta silloin joko tutkijat tietävät, mitä odottaa ja testaavat hypoteesin negatiota, mutta kuten aikaisemmin mainittua: datavetoisena tieteenä systeemibiologiassa hypoteesi on tulos ja tutkijat harvemmin tietävät mitä odottaa, tai jos tietävät, he eivät tiedä, miten kyseinen ilmiö emergoituu. Täten sanotaankin, että systeemibiologian testit eivät ole kokeellisia testejä sinänsä, vaan komputationaalisia testejä. Komputationaalinen testaaminen ei ole puute, vaan se on myös välttämättömyys. Westerhoff ja Kell (2007) havainnoivat tätä, että molekyylibiologiassa voidaan sanoa, että kaksi glutamaattimolekyyliä tarvitaan proteiinissa, jotta siihen voi sitoutua kalsium-atomi. Tämä perustuu elektronegatiivisuuksista johdettuihin välttämättömyyksiin, eikä niitä vaivauduta testaamaan, vaan ajatellaan, että perustuen orgaaniseen kemiaan, muuta vaihtoehtoa ei ole. Systeemibiologiassa sen sijaan reaktioketjut ovat niin monimutkaisia, että niitä on pakko testata komputationaalisesti, sillä hyvin pienillä eroilla voi olla massiivisia vaikutuksia (Westerhoff & Kell 2007, 61). Lyhyesti ilmaistuna voidaan sanoa, että yksinkertaisilla systeemeillä voi olla monimutkainen dynamiikka. Westerhoff ja Kell kutsuvat näitä mallinnuksia ”tietokone jäljennöksiksi” tai ”pii-soluiksi” (engl. silicon cell).

²⁵ Parametrit ovat siis tilamuuttujia, jotka ovat päämuuttujien suhteen staattisempia. Systeemibiologiassa parametrit ovat esimerkiksi pH-arvot, ionien pitoisuus solulimassa, lämpötila jne.

6.3 Selitykset systeemibiologiassa

Kuten aikaisemmissa luvuissa on huomioitu, mekanistiset selitykset ovat erittäin käyttökelpoisia biologiassa ja oikeastaan motivaatio niiden kehittämiseksi kybernetiikan ja insinööriikan ulkopuolella tulikin juuri elämäntieteistä. Mitä mekanistiset selitykset tarjoavat systeemibiologialle? Systeemibiologian lähtökohta on kuvata ja selittää solujen ominaisuuksia molekulaarisilla tekijöillä tai mekanististen selitysten mukaisesti osilla ja niiden funktioilla (Richardson & Stephan 2007, 123). Mekanistiset selitykset sopivat hyvin systeemibiologiaan (ja systeemitieteisiin ylipäätään), sillä systeemin käsittely mekanistisena on oikeastaan uudelleenkuvaus monimutkaisesta dynaamisesta biokemiallisesta systeemistä, joka on siis systeemibiologisen tutkimuksen, selityksen, ennustuksen ja kontrollin kohde. Robert Richardson ja Achim Stephan (2007) katsovat, että mekanistiset selitykset systeemibiologiassa tyydyttävät sekä emergentit ominaisuudet (analyttisen strategian mukaisesti) että reduktionistiset strategiat (synteettisen strategian mukaisesti).

Mekanististen selitysten ehdoton etu systeemibiologiassa on niiden selityksellinen monitasoisuus. Mekanistisia selityksiä luodessa ja käsiteltäessä ei varsinaisesti tarvitse asettaa mitään tiettyä selityksellistä resoluutiota, vaan kyseistä ongelmaa tai selitettävää asiaa voidaan käsitellä sillä selityksellisellä resoluutiolla tai tasolla, mikä on käytännöllisin koskien sitä prosessia, jonka systeemi tuottaa. Hyvin usein tuote on tiedossa ennen tietoa siitä, mikä prosessi sen tuottaa. Mekanistiset selitykset systeemibiologiassa tyypillisesti vastaavat kysymykseen ”miksi” ja tämä vastaus on automaattisesti funktionaalinen kuvaus ”miten”. Käytännöllisyys voi perustua esimerkiksi sen hetkiseen tietorunkoon (maksimaalinen episteeminen spesifisyys, jota systeemibiologian alueella ajaa ”omiikat” tai bioinformatiikka) ja metodologiaan, joka edellisen alaluvun mukaisesti hyvin pitkälti määrittelee sen filosofian, jonka sisällä selityksiä tehdään (analyttinen tai synteettinen). Tämä on ensisijaisen tärkeää systeemibiologiassa, sillä systeemitason ymmärtäminen aina geneistä metabolisten verkostojen kautta intra- ja intersytologiseen, eli monien solujen väliseen vuorovaikutukseen, on periaatteessa aina tarkasteltavissa yhtenä systeeminä, jonka sisällä on lukuisia alisysteemejä. Mekanistiset selitykset voivat liikkua vapaasti näiden välillä. Koska nämä systeemit ovat dynaamisia, nomologiset selitykset ja muut tämän tekstin alussa esitetyt jokseenkin lineaariset selitysmallit ovat hyödyttömiä, ainakin mitä tulee moniin prosesseihin, jotka edellyttävät muutoksia puhumattakaan emergenteistä ominaisuuksista. Voidaan sanoa, että lineaariset tai nomologiset selitykset kuvaavat tietynlaista ”jäätynyttä” tai staattista tilannetta, joka epäonnistuu kaappaamaan systeemin toiminnan kannalta

ensisijaisen tärkeän dynaamisen luonteen. Jos emergentit ominaisuudet ovat vielä ennustamattomia systeemin alkutilasta ilman dynaamisuutta, kuten aikasidonnaista tarkastelua tai simulaatiota, niin lakeja lienee jokseenkin mahdotonta tehdä.

Vaikka systeemibiologisen selityksen lopputulos on hypoteesi, ei tämä tarkoita sitä, että systeemibiologia ei sisältäisi teorioita. Jos systeemibiologisen tutkimuksen lopputulos on hypoteesi, niin mikä sitten on systeemibiologian teoria? Tieteellisten selitysten valossa systeemibiologian teoria on malli ja hypoteesi, jotka on saavutettu tutkimuksella. Tämä ei kuitenkaan tee mallin totuusarvolle mitään diskreettiä arvoa, kuten Popperin mukaisesti usein katsotaan, teorioita ei voida osoittaa todeksi. Näin myös systeemibiologian malleja ei voida sinänsä osoittaa todeksi. Mikä olisi esimerkiksi ”tosi” resoluutio mallille? Kenties koko universumi? Systeemibiologian (vaikkakaan ei ainoana tieteenä) teoriat, eli mallit, ovat monitasoisia ja edellyttävät näin monitasoisia selityksiä ja kuvauksia. Monitasoiset selitykset taas edellyttävät mekanistisia selityksiä, sillä nämä tasot vuorovaikuttavat keskenään dynaamisesti. Koska selityksen tasot ovat laadullisesti erilaisia, edellytetään mekanistisilta selityksiltä tietynlaista ”selityksellistä pluralismia”. Selityksen taso on täten senhetkinen ”todellisuus” ja täten todellisuuksia on kaksi tai enemmän. Mekanististen selitysten ei tulisi olla vain akteja, jotka sovittavat systeemit johonkin kausaaliseen verkostoon, mikä johtaisi aikaisemmissa luvuissa mainittuun proksimaaliseen selittämiseen. Systeemibiologia kyllä tarvitsee proksimaalisia selityksiä, mutta selityksen (ja systeemien) monitasoisuuden vuoksi edellytetään myös ultimaattisia selityksiä, sillä vaikka tasot ovat laadullisesti erilaisia, ne silti vuorovaikuttavat keskenään, koska biokemialliset systeemit ovat sekä kontrollisysteemejä (itsesäätelviä) ja dynaamisia. Richardson ja Stephan katsovat, että systeemibiologiassa mekanistiset selitykset tulisi tulkita konstitutiivisiksi perinteisen ”kausaalis-mekanistisen” näkemyksen sijaan. (Richardson & Stephan 2007, 127).

Monitasoiset selitykset eivät ole pelkästään instrumentaalinen tapa selittää biologisia ilmiöitä. Luonto itsessään vaikuttaa olevan monitasoinen. Voidaan puhua atomeista, molekyyleistä, aminohapoista, proteiineista, soluista, organismeista ja yhteiskunnista ja kaikkia edellisiä voidaan selittää mekanistisesti ja kieltämättä kaikki tasot vuorovaikuttavat keskenään vähintään alhaalta ylös. Aminohapoista muodostuva proteiini voi laskostua virheellisesti ja kehittyä näin prioniksi, aiheuttaen suu- ja sorkkatauti-epidemian, minkä seurauksena tuhansia eläimiä teurastetaan ympäri maailmaa ja se vaikuttaa ruokatalouden hinnoitteluun. Tämä saattaa taas johtaa geeniterapioihin,

joita rokotusohjelmien kaltaisesti syötettäisiin ihmiskunnalle muuttaen näin koko geenipoolin siten, että prionit vain lakkaavat olemasta. Tasoista puhuminen kuitenkin aiheuttaa selityksellisiä ongelmia. Ovatko tasot episteemisiä tasoja, selityksellisiä tasoja, ontologisia tasoja vai artefakteja? Välttyäkseen tämän kaltaisilta intuitiivisilta ongelmilta (joihin ei tyhjentävää vastausta ole), Richardson ja Stephan, monien muiden filosofien ja tieteilijöiden tapaan, käyttää mieluummin tasoja kuvatessaan käsitettä selityksellisestä resoluutiosta. Näin ollen tasot eivät ole sinänsä laadullisia hyppyjä, vaan saman asian eri resoluutioita (Richardson & Stephan 2007, 130). Resoluutiolla on myös se etu (etenkin systeemibiologiassa), että vaikka resoluutio vaihtuisi, koko systeemi pysyy kokonaisuutena. Selittäviä ja/tai kuvailevia tasoja vaihdellessa esimerkiksi makrosta mikroon, makrotaso häviää. Tätä asiaa käsiteltiin luvussa 2. puhuttaessa mm. kaasulaeista. Sama organisaation taso pysyy, vaikka resoluutio muuttuu.

Systeemin osat ja niiden funktiot pysyvät vaikka resoluutio muuttuu. Tason vaihto sen sijaan kadottaa kaikki muut ilmiöt, kuten ”kaasun sinänsä”, jos selityksen taso vaihtuu. Kun aletaan luomaan mekanistista selitystä kompleksisesta systeemistä, oli kyseessä sitten yritys, yksilö, solu, tai termostaatti, täytyy mekanismin kuvauksen olla tarpeeksi tarkka, jotta selitettävä ilmiö itsessään voidaan tunnistaa. Tämä määrittelee aloitusresoluution, mutta se myös määrittelee episteemisen toleranssin, sillä se rajaa pois sellaisia asioita, jotka eivät ”näy” kyseisessä resoluutiossa. Resoluutio määrittelee siis episteemisen toleranssin. Mitä tarkempi resoluutio, sitä vähemmän on toleranssia. Täten selitykset vaikuttavat olevan tietyllä tapaan modaalaisia. Ne sallivat tietyn toleranssin, mutta eivät kaikkea. Samalla ne ovat episteemisesti sidottuja, mutta allekirjoittanut katsoo, että kyseessä olisi ontologisen entiteetin sijaan ennemminkin episteeminen artefakti.²⁶ Mikä sitten on mallin ja selityksen varsinainen ero? Selitys on tulkinta ja tyypillisesti se on väitelause eli argumentti. Täten sillä on totuusarvo. Mallit, vaikkakin tuottavat selityksiä ja ennustuksia, eivät omaa totuusarvoa. Ne ovat näin riippumattomia aparaatteja. Miksipä ei episteemisiä artefakteja?

²⁶ Tarja Knuutilan termi.

6.3.1 Teoriat malleina

Monet tieteen tekijät ja filosofit voivat haaveilla näkemyksestä, että biologia tulisi jossakin vaiheessa samankaltainen tiede, kuin perinteiset tieteet ”kovat tieteet” kuten fysiikka jne., jotka edustavat ns. ”Eukleideen ideaalia”. (Scaffner 2007. 145). Scaffner kuitenkin toteaa, että elämäntieteissä teoriat ovat usein ”prototyypimalleja” ja näin laadullisesti erilaisia verrattavissa esimerkiksi fysiikkaan ja fysiikan malleihin. Schaffner toteaa, että pitkän aikaan jopa biologit ihannoivat näkemystä tieteestä siten, että olisi tietty määrä aksiomia, joista on tehty johtopäätöksiä, ja nämä päätökset ovat valideja perustuen logiikkaan, kuten deduktiivis-nomologisessa mallissa. Totuus on kuitenkin se, että biologiassa on hyvin vähän teorioita, jotka pohjautuvat puhtaasti lakeihin ja deduktioon (Schaffner 2007, 145). Schaffner katsoo, että modernit teoriat biologiassa ovat monitasoisia ja tarvitsevat monitasoista tarkastelua sen sijaan, että ne nähtäisiin diskreetteinä seriaalisen sääntöjennoudattamisen tulkintoina. Yleisesti ottaen Schaffner katsoo, että moderni biologia edellyttää monitasoista perspektiiviä kunkin ongelma tarkasteluun. Nämä monitasoiset tulkinnat, kuvaukset, selitykset ja ennustukset (kuten olemme aikaisemmin maininneet), ovat malleja, sillä mallit aktualisoivat kaikki. Tarkalleen ottaen mallien prototyyppejä, jotka toimivat hypoteeseina ja täten selityksen tuotteina. Tässä on hyvä muistaa puhe siitä, että hypoteesi on tuotos tai lopputulos. Tilanne vaikuttaa erikoisuutensa vuoksi siihen, minkälaiseen tieteelliseen ”lokeroon” teoria tippuisi. Systemibiologian tapauksessa käy niin, että teoriat tippuvat siihen lokeroon, johon mallit tippuvat.

Mallit mistä hyvänsä biologisesta systeemistä koostuvat lukuisista idealisoiduista, ja täten prototyypisistä, mekanismeista jotka voivat olla tarkoituksellisestikin ns. ”mutantteja”. Mutanteilla tarkoitetaan tarkoituksella tehtyjä malleja, joiden ei edes tulisi toimia tavalla, miten aktuaalista kohdetta tutkitaan. Esimerkiksi jos on hypoteesi siitä, että ribosomissa tapahtuu proteiinisynteesiä lähetti-RNA:lla, niin voidaan tehdä ”mutantti”, jossa näin ei ole. Tämä lisää tietoa siitä, miten systeemi ei ainakaan toimi. Ajatus on kuitenkin siinä, että jos teoria on malli tai prototyypimalli, niin on olemassa tietynlainen ”keskitason malli”, joka on tarpeeksi hyvä kuvaamaan, selittämään ja ennustamaan ilmiötä jota ollaan tutkimassa. Koska systemibiologia nojaa voimakkaasti matemaattiseen mallintamiseen, niin on helppoa ajautua käsitykseen, että koko systemibiologia olisi rakennettavissa matematiikkaan ja täten se voitaisiin palauttaa ”Euklidiseen ideaaliin”. Tämä ei valitettavasti toimi. Ensimmäinen ongelma biologisissa systeemeissä ilmenee siinä, että yksinkertainen mekanismi voidaan realisoida lukuisilla erilaisilla molekulaarisissa systeemeillä. Jos

esimerkiksi mallissa on vain yksi mRNA, niin proteiinisynteesin tapahtuminen on mahdollista, joskin kyseisenlaisessa mallissa tulokset olisivat epätodennäköisempiä kuin mallissa, jossa olisi 10 000 mRNA -makromolekyylia. Toisin sanoen ei ole olemassa tietynlaista matemaattista mallia tai fysiikkaan nojaavaa mekanistista kuvausta systeemistä, mitä biologia ei pystyisi toteuttamaan lukuisilla eri tavoilla (Schaffner 2007, 153). Schaffner valottaa tätä esimerkillä Hodginin ja Huxleyn 1952 nobelin palkinnon ansainneella tutkimuksella neuronin aksonin toiminnasta. Kyseinen tutkimus tehtiin jättiläismustekalalla, jolla on bilateriaalisesti kaksi millä tahansa mittapuulla tarkasteltuna valtavan kokoiset aksonit, mikä mahdollisti niiden toimintapotentiaalinen, eli neuroimpulssien, tutkimisen tarkasti. Hodgin ja Huxley pystyivät määrittämään relatiivisella tarkkuudella mm.: muodon, keston, vahvuuden (toimintapotentiaalinen), impulssin nopeuden, muutokset rakenteessa verrattavissa edellisiin, ionien kulkureitit ja rajatilat jolloin toimintapotentiaali saa oskillatorisia ominaisuuksia. Kutakuinkin Hodgin ja Huxley onnistuivat määrittelemään kaikki mekaaniset ominaisuudet mustekalan aksonin toiminnasta, mutta tämän tekstin kannalta mielenkiintoinen aspekti on se, että Hodginilla ja Huxleylla ei ollut mitään käsitystä siitä, mitkä molekulaariset rakenteet ja niiden väliset reaktiot toteuttivat tämän. Toisin sanoen heidän mallinsa olisi toiminut aivan yhtä hyvin, vaikka jokainen hiiliatomi oltaisi korvattu piiatomilla. Lisäksi Hodginin ja Huxleyn malli mahdollisti aksonin toiminnan kahdella ionikanavalla, vaikka kyseisessä hermojärjestelmässä on lukuisia erilaisia ionikanavia. Täten voidaan palata ajatukseen siitä, että teoria systeemibiologiassa on prototyyppimalli ja tästä prototyyppimallista voidaan johtaa testien kautta hypoteeseja, jotka ovat siis tuloksia. (Schaffner 2007, 153 – 155).

Chaffner kutsuu edellisen kappaleen esimerkkiä emergentiksi yksinkertaistamiseksi. Korkeammalla abstraktion tasolla tai ”suuremmalla resoluutiolla” esitettynä jokin mekanismi tai systeemi voidaan esittää menestyksekkäästi, vaikka sen taustalla toimivaa molekulaarista mikrosysteemiä ei tunneta. Kyseessä ei täten ole malli jostakin mekanismista, vaan prototyyppinen malli. Schaffner katsoo pystyvänsä tarjoamaan kahdeksan sovellusta edellisestä esimerkistä filosofialle siitä, miten systeemibiologiaa tulisi tarkastella:

- Biologiassa yleisten teorioiden roolit esitetään fysiikan ihanteen vastaistesti prototyyppimalleilla, joita voidaan käsitellä sekä malleina että mekanismeina, ja

näin ollen kyseessä on kausaalis-temporaaliset monitasoiset systeemit, jotka edellyttävät mallintamista ja mekanistista selittämistä

- Nämä prototyypit voidaan luoda kvantitatiivisesti mutta tyypillisesti ei, sillä niiden kvantitatiiviset muuttujat eivät välttämättä koskaan ilmene matematiikassa, eli siinä ”kielessä”, jota käytetään prototyyppien mallintamiseen. Matematiikka, jota prototyypeissä käytetään, ei myöskään ole universaalia vaan voimakkaasti sitoutunut siihen ilmiöön, josta prototyyppiä ollaan luomassa
- Biologiset prototyypit toimivat selittäjinä tai lisäosina jonkin monimutkaisemman biologisen systeemin selittämiseen. Tämä tapahtuu analogialla matemaattisen determinoinnin sijaan.
- Biologisten prototyyppien ei tarvitse redusoida genetiikan tasolle. Geneettinen informaatio voi olla hyödyllistä, mutta jonkun systeemin mallintaminen, selittäminen, kontrolli ja ennustaminen eivät edellytä reduktiota genetiikan tasolle.
- Biologiset prototyypit (mallit) sisältävät kriittistä rakenteellista informaatiota. Tämä informaatio on biologista luonteeltaan, eikä täten ole verrattavissa esimerkiksi fysiikkaan tai kemiaan. Näitä prototyyppisiä tulee tarkastella emergentteinä systeemeinä riippumatta siitä, ovatko ne niitä vai ei, tai mitä emergentismillä tässä kontekstissa edes tarkoitetaan.
- Biologiset prototyypit tulee tarkastella dynaamisina systeemeinä lisäksi niiden rakenteellisen organisaation kanssa. Riippumatta siitä, tarkastellaanko prototyyppiä dynaamisesti vai temporaalis-kausalisesti, voidaan nämä mallintaa matemaattisesti.
- Jos biologista systeemiä tarkastellaan kvantitatiivisesti, niin tulee ottaa huomioon, että parametrien muutoksen ja niiden soveltaminen kokeissa tulee toteuttaa yleisen biologisen periaatteen mukaisesti sen sijaan, että aloitettaisiin pelkällä reduktiolla kohti kemiaa ja fysiikkaa.

- Prototyyppimallit tulevat kattamaan tulevaisuudessa geneettisen ja epigeneettisen elementin.

(Schaffner 2007, 159 – 161).

Usein törmää sanontaan, että kaikki mallit ovat väärinä, mutta jotkut enemmän kuin toiset (alun perin ymmärtääkseni George E. P. Box teoksessa *Empirical Model-Building and Response Surfaces*. Olaf Wolkenhauer ja Mukhtar Ullah (2007) esittävät systeemibiologian paradoksiksi ilmenevän asian mallintamisesta. Ongelma piilee siinä, että käsitellessään kompleksisia systeemejä, niitä täytyy redusoida kohti biologista todellisuutta. Matemaattinen mallintaminen sen sijaan abstrahoi, eli toisin sanoen vähentää monimutkaisuutta. On harhaanjohtavaa ajatella, että systeemibiologia tarjoaisi tarkan jäljennöksen siitä systeemistä, mitä sen mallien tulisi representoida (synteettinen biologia on taas asia erikseen). Vaikka mallit eivät olisi tarkkoja, ne ovat hyödyllisiä, sillä ne auttavat ymmärtämään systeemiä ja sen prosesseja muokkaamalla ”todellisuutta toiseksi”. (Wolkenhauer O. & Ullah M. 2007, 163).

Abstrahoinnin lähtökohta on aina mallintaminen, mallintamisessa redusoidaan monimutkaisia vuorovaikutuksia ensisijaisen tärkeisiin piirteisiin, jotka ovat välttämättömiä mallin vastaavan todellisuutta. Tärkeää on kuitenkin pitää mielessä, että ei ole oikeaa tai väärää mallia, vaan malleja joilla on eri tarkoituksia. Systeemibiologiassa matemaattinen mallintaminen on tehdä arviointeja siitä, millä abstraktion tasolla tarkastellaan biologista systeemiä ja se auttaa meitä ”ymmärtämään todellisuutta”. Systeemibiologia on rakentunut molekyyli- ja solubiologian varaan integroiden siihen kontrolliteorian kybernetiikasta ja tällä ”sekoituksella” voidaan tarkastella biologisia systeemejä dynaamisina kontrollisysteeminä ja auttaa meitä ”ymmärtämään todellisuutta”. Kyse ei ole todellisuudesta, vaan malleista, mutta ne auttavat ymmärtämään todellisuutta. Matematiikka on välttämätöntä systeemibiologiselle mallintamiselle neljästä syystä, jotka Wolkenhauer ja Ullah esittävät:

- Systeemibiologiassa on suuri määrä muuttujia, jotka ovat vastuussa systeemin käyttäytymisestä. Toisin sanoen ihminen ei kykene käsittelemään niin monta liikkuvaa osaa.
- Biologiassa toiminta on epälineaarista ja ihmiset ovat huonoja käsittelemään epälineaarisia systeemejä.

- Teknologia, joka kulloinkin on käytössä, on aina tavalla tai toisella rajallista tarkkuudeltaan, joten tarvitaan yleistyksiä ja ”pyöristyksiä”, jotta saadaan dataa luoda prototyypimalleja
- Metodologioiden epävarmuus ohjaa tieteilijät tutkimaan systeemiä mallina ja sen toimintaa perustuen siihen, minkälaisen selityksellisen resoluution metodologia ja tutkittava kohde asettavat.

(Wolkenhauer O. & Ullah M. 2007, 165).

Perustuen edellisiin on melko selvää, että prototyypimalli esimerkiksi solusta ja sen funktioista on käsitteellinen, ei todellinen. Täten episteeminen artefakti – ei ontologinen artefakti. Kaikki teoreettinen tieto on suhteessa käsitteelliseen paradigmaan, mikä kulloinkin on valloilla. Aikaisemmin tässä tekstissä käsiteltiin selitysten osasta modaalista, ontologista, ja episteemistä kantaa. Vaikuttaa voimakkaasti siltä, että systeemibiologian mallit, eli teoriat, ovat episteemisiä ja episteeminen maksimaalinen spesifisyys perustuu omiikoista saatuihin datapankkeihin ja ymmärrykseen orgaanisen kemian pakottamista vuorovaikutuksista perustuen esimerkiksi kovalenttisiin sidoksiin, jotka pakottavat (esimerkiksi) proteiinit laskostumaan tietyllä tavalla, eri entsyymit toimimaan tavalla, joka mahdollistaa esimerkiksi laktoosin käytön glukoosin puutteessa E. Coli -bakteerissa. Wolkenhauer ja Ullah (2007) argumentoivatkin, että mallintaminen on aina tavalla tai toisella epätarkkaa ja täten epärealistista, mallintamisprosessi itsessään vaatii tarkempaa tarkastelua.

Kun puhutaan mallintamisesta systeemibiologiassa, palaamme jälleen kysymykseen analogisesta ja synteettisestä mallintamisesta, toisin sanoen ylhäältä-alas ja alhaalta-ylös -mallintamisesta. Analyyttisen mallintamisen lähtökohta on luonnollisesti systeemin käytöksen tarkastelu ja dokumentointi. Ajatus on siinä, että tunnistetaan systeemin käyttäytymistä, jotka ovat isomorfiassa keskenään, mutta kyseiset havaitut käyttäytymiset, vaikkakin isomorfisia, eivät ole keskenään vuorovaikutuksessa. Tämä havainto johtaa päätökseen, että nämä kaksi käyttäytymistä ovat eri systeemejä, vaikka niiden isomorfia olisikin selvä (Wolkenhauer & Ullah 2007, 170). Muistamme aikaisemmista luvuista, että analyttinen suuntaus etsii ensimmäiseksi ominaisuuksia ja sen jälkeen alkaa tunnistamaan sen rakenteita. Synteettinen suuntaus taas tunnistaa rakenteita ja

löytää tätä kautta ominaisuuksia. Isomorfismi – rakenteellinen samankaltaisuus – ei täten ole riittävä vaikkakin välttämätön elementti jonkin ominaisuuden tunnistamiselle ja eristämiseksi. Analyttisen mallintamisen pääpiirre on eristää systeemin käyttäytymistä, havaita isomorfiaa ja tehdä erotteluja sen välillä, että vaikka isomorfiaa olisi, onko käyttäytymisten välillä relaatiota. Toisin sanoen vaikuttavatko käyttäytymiset toisiinsa, vaikka ne olisivat rakenteellisesti isomorfisia?

Analyttisen tutkimuksen idea on siis olla tekemättä oletuksia systeemin abstrakteista ominaisuuksista perustuen isomorfiaan, mikä siis on luonnollisen, eli aktuaalisen systeemin osa-alue. Moisen oletuksen tekeminen on toki tulos, se on hypoteesi. Aikaisemmissa luvuissa onkin mainittu, että systeemibiologian tulos on hypoteesi, mutta isomorfia ei ole riittävä elementti tekemään hypoteesia kahden systeemin vuorovaikutuksen välillä, vaikkakin niiden isomorfia, eli rakenteellinen muoto, olisi sama. Synteettisessä rakentamisessa (ja selittämisessä/mallintamisessa) tarkastellaan isomorfiaan kuuluvien systeemin rakenteiden alisysteemejä, joiden lähtökohtainen tarkoitus on löytää aktuaalisia vuorovaikutuksia riippumatta rakenteellisesta yhtäläisyydestä (Wolkenhauer & Ullah 2007, 172). Vuorovaikutus on havaittavissa mm. usein käytettävällä metabolisella kontrollianalyysillä, jolla nähdään ”tuotteita”, joita ei ollut systeemin rakenteessa. Aitoja emergenttejä ominaisuuksia ei välttämättä erota rakenteesta, mutta niiden ilmeneminen tai muuttuminen tarkastelun aikana kertoo siitä, että jotakin on tapahtunut systeemissä ja tämä on synteettisen analyysin ydin. Toisaalta käytetään mallinnusta, joka tunnetaan dynaamisena polkuanalyysinä. Idea tämän taustalla on jokseenkin synteettinen. Dynaamisessa polkuanalyysissä ei olla varsinaisesti kiinnostuneita siitä, mitkä tekevät mitään, vaan siitä mitkä tilat muuttuvat, milloin ja miksi. Bioinformatiikka ja omiikat, kuten genomiikka, proteomiikka jne., luovat katalogeja ja keräävät datapankkeja niistä elementeistä, jotka toimivat solussa, mutta tämä tieto on riittämätön selittämään juuri yhtään mitään siitä, miten solu toimii. Lisäksi solun lukuisat toiminnat ovat koordinoituja, kontrolloituja ja säädeltyjä, joten metodi selvittää näistä vastaavat toiminnat on ns. ”taaksepäin insinööriikka”. Toisin sanoen ilmenevä prosessi puretaan osiin ja uudelleen rakennetaan käänteisessä järjestyksessä. Tämä metodi paljastaa ”polun”, miten tietty prosessi aktualisoitui ja bioinformatiikka kaikkine omiikoineen ja tarjoaa osat, jotka ovat vastuussa tästä prosessista.

Koska monet solujen metaboliset systeemit ovat hyvin dynaamisia ja täten niiden tulee olla melko robusteja, tulee niiden täten kestää ulkoista ärsykettä tiettyyn pisteeseen asti. Näin ollen niiden

”löytäminen” helpottuu häiritsemällä herkempiä systeemejä ja toisaalta systeemit ovat herkkiä kontrollille joten tiettyjen muuttujien manipulaatio toimii myös metodina selvittää toimintaa (Wolkenhauer & Ullah 2007, 177). Systeemien manipulaatio on joko ympäristön muuttamista tai mallin muuttamista. Teoria erillisenä entiteettinä mallista ei varsinaisesti mahdu tähän kuvioon.

6.4 Mallit, data, holismi ja realismi

Ensimmäiseksi lienee oleellisinta purkaa käsite ”omiikka”. Sanapääte ”omiikka” tulee ns. ensimmäisestä ”omiikasta” eli genomiikasta. Ajatus siis on kerätä kaikki osat riippumatta niiden funktioista ja luoda niistä datapankki, jossa nämä osat ovat saavutettavissa aina tiettyjä projekteja tutkittaessa. Genomiikan perusta on ymmärrettävästi Human Genome Project, mutta ”omiikat” ovat ylittäneet kutakuinkin kaikki rajat. On esimerkiksi proteomiikkaa, joka tekee samalaista kartastoa proteiineista (mikä melko varmasti on jokseenkin loputon), ja allekirjoittanut on jopa törmännyt incidentonomiikkaan, eli omiikkaan ei-ennustettavista asioista. En todellakaan tiedä, mitä sillä tarkoitetaan. Systeemibiologia tarvitsee raaka-aineekseen orgaanisen kemian ja biokemian omiikat. Toisin sanoen informaatiobiologian datapankit ovat rakenneosat systeemibiologialle. Yleisti ottaen omiikat tarjoavat rakenteellisen datan, mutta ei funktionaalista dataa ja omiikoiden tarkoitus on kerätä tämä rakenteellinen data ja systeemibiologian tehtävä on saada siitä jotakin funktionaalista irti (Krosh & Callebaut 2007. 181). Voisi kuvaila, että omiikat ovat tilastotieteellisiä aineistoja populaatiosta, jossa populaatio kattaa kaikki laadullisesti erilaiset tekijät. Omiikat tarjoavat rakenteen, mutta systeemibiologia tarjoaa dynaamisen viitekehyksen, jossa voidaan tarkastella tarkasteltavan systeemin käyttäytymistä. Lisäksi on monia muuttujia, joita voidaan manipuloida ja seurata niiden käytöksen muuttumista näissä ”kontrolloiduissa” ympäristön manipulaatioissa on systeemibiologian metatason perustaa. Aikaisemmin on puhuttu alhaalta-ylös-mallista datan keräyksenä ja omiikka-lähtöisenä ja ylhäältä-alas-mallintamista systeemiperspektiivisenä. Nämä kumpikin ovat systeemibiologian metodeja ja tämän kappaleen tarkoitus onkin selvittää ”omiikoiden” roolia systeemibiologiassa. Juurikin omiikoiden vuoksi (joskus kuulee jopa käytettävän ilmaisu ”omiikoiden aikakausi”), systeemibiologia pyrkii palauttamaan datavetoisen tieteen tekemisen teoriavetoiseksi. Tämä on systeemibiologian suurin ongelma.

Vaikka voidaan sanoa, että systeemibiologian datan lähde on bioinformatiikka ja näin systeemibiologia olisi lähtökohtaisesti datavetoista, niin sen alhaalta ylös -strategia on kuitenkin

jokseenkin perinteinen. Krosh ja Callebaut tarkastelevat myös sitä, mitä varsinaisesti systeemibiologian malleille, niiden suhteelle realismiin ja holismille käy, kun asiaa tarkastellaan enemmän ylhäältä alas -strategisesti tai vähemmän teknisemmin ”teoriavetoisesti”. Teoriavetoisuuden ongelma piilee jokseenkin funktion itsensä käsityksessä. Jos aloitetaan systeemin dekompositio perustuen sen funktionaalisiin rooleihin joiden perusta löytyy molekyylibiologian (tai pikemminkin orgaanisen kemian) mahdollisuuksien ja välttämättömyyksien sanelemista verkostoista, niin mihin vetää raja? Krosh ja Callebaut esittävät, että funktio ei olisi ”alisysteemin” funktionaalinen rooli itsessään, vaan pikemminkin sen kontribuutio koko systeemille. Tämä kontribuutio koko systeemille alisysteemin sijaan edustaa myös tietyllä tapaa holismia, joka on oleellinen osa systeemibiologiaa ja ylipäätään motiivi tutkia sitä. Dekompositiota kyllä, mutta dekompositiota koko systeemin vuoksi. Tämä olisi siis tarkasteluaspekti koskien käsitteen ”funktionaalinen rooli” osaa ”funktio”. Osa ”rooli” taas tulisi mieltää dispositioksi toimia tietyllä tavalla ja tämä tapa on juurikin se tapa, joka aktualisoi funktion tavallaan palvelemaan koko systeemiä sen sijaan, että funktionaalinen rooli olisi vain alisysteemin omaksi hyväksi tapahtuva ilmiö, joka olisi taas redusoitavissa alaspäin jne. Lisäksi kun ”rooli” on dispositio, niin se on jokseenkin modaalinen, sillä ollessaan dispositio, se määrittää mahdollisuuksia ja välttämättömyyksiä sille, miten funktiot taas voivat aktualisoitua. (Krosh & Callebaut 2007, 201).

On tärkeää tarkentaa, että funktionaalisen roolin analyysi on jokseenkin alhaalta ylös -strategista, mutta sen informatiivinen tai tulkinnallinen kontribuutio on koko systeemille. Tämä luo uuden ongelman. Systeemibiologit halusivat strukturaalisen dekomposition, mutta se ei välttämättä korreloi fysiologisten rajojen kanssa. Strukturaalinen funktio-orientoitunut dekompositio on enemmän tai vähemmän käsitteellistä rajojen vetoa, kuin aktuaalisten biologisten systeemien rajapintojen piirtämistä. Ongelma on itse asiassa sen verran vakava, että on tarjottu näkemystä ”rajatusta rationaalisuudesta” koskien dekompositiota. Tällä tarkoitetaan sitä, että varsinaista rajaa ei voida tehdä, mutta olosuhteisiin nähden parhain mahdollinen raja olisi fysiologinen – ei käsitteellinen (ontologinen vastaan episteeminen). On myös tarjottu ehdotusta, että funktionaalisuus lisättäisiin (käsitteellisenä elementtinä) vasta jälkeenpäin systeemille, jonka ensimmäinen dekompositio on fysikaalinen (Krosh & Callebaut 2007, 203). Tämä ei kuitenkaan allekirjoittaneen tai varmaankaan kenenkään muunkaan mielestä muuta mitään. Ongelma on kaiken kaikkiaan jokseenkin perinteinen biologiassa. Fysikalisoitaisiinko kaikki sen kustannuksella, että elämäntieteille olennaiset funktionaaliset ominaisuudet häviävät, vai mitä tehdään käsitteellisille rajanvedoille? Krosh ja Callebaut toteavatkin, että ”merkityksen” löytäminen ”omiikoista” on

varmaankin systeemibiologian suurimpia filosofisia ongelmia. Oli miten oli, funktionaalisuus nojautuu tavalla tai toisella malleihin. Mallit eivät itsessään omaa totuusarvoa. Ilman muuttujia (mitä vain ominaisuuksia mittarista riippuen asetettuna mallin toteutettavaksi) mallit ovat tyhjiä sinänsä. Täten ne ovat myöskin riippumattomia, mutta ne omaavat rooleja, dispositioita siitä, miten ne voivat toimia modaalisesti. Kun malleihin asetetaan arvoja niiden roolien toteutettavaksi, niin syntyy funktioita, jotka ovat mahdollisesti laskennallisesti seuraavia. Tämä taas on tutkijan käsissä, tuleeko niistä seuraavia vai ei. Eräs tapa ratkaista tai ainakin ohjata tätä ongelmaa on pitää alisysteemit koko systeemin osina erottamatta niitä alisysteemeiksi laisinkaan. Ne olisivat näin tavallaan välttämättömiä ja riittäviä ominaisuuksia sille, että koko systeemi toimii sen sijaan, että ensin pyrittäisiin ”funktionalisoimaan” alisysteemit niiden itsensä vuoksi. Näin tavallaan jonkin alisysteemin olemassaolon ”merkitys” nousee omiikoista perustuen siihen, että ei alisysteemi itse, vaan koko systeemi (esim. organismi) vaatii sitä. Tavallaan luovuttaisiin ajatuksesta mallintaa erikseen esimerkiksi mitokondriat jne., vaan ne ”lisättäisiin” post hoc koko systeemiin lokalisaation ja dekomposition jälkeen käsitteellisiksi entiteeteiksi palvelemaan koko systeemiä holistisesti.

Systeemibiologia ei kuitenkaan pääse irti datasta. Holismi käsitteenä voi toimia kaiken edellä kuvatun mukaisesti niin, että se tarkoittaisi vain ”täydellistä” datamassaa. Toisin sanoen täydellistä bio-omiikkaa ja siihen perustuvia malleja. Holismi ei kuitenkaan voi tarkoittaa ”täydellistä”, sillä tuskin on mallia, joka ottaisi huomioon kaikki mahdolliset ympäristöt, joihin kyseinen malli voisi joutua. Olisi melko posketonta pyrkiä ”dynaamiseen envirentonomiikkaan”, vaikka ilmeisesti incidentonomiikkojakin löytyy. Näin hieman teknisemmin termein, mikään systeemibiologinen malli ei voi olla suljettu systeemi. Huoli kumpuaa siitä, että omiikkoihin nojaavat mallit systeemibiologiassa edustavat epätäydellisiä systeemejä (alhaalta ylös) perustuen ympäristöön ja kokonaisen organismin responsseihin koskien juuri ympäristöä. Tämä kuulostaa Pandoran lippaalta, mutta intuitiivisesti voidaan jo sanoa, että kokonaisella organismilla, vaikkapa eukaryootilla, on vain rajalliset mahdollisuudet vastata ympäristölle. Kuitenkin ääretön määrä mahdollisuuksia hajota ympäristön elementtien johdosta, mutta se ei ole enää systeemin ominaisuus sinänsä.

Miksi tämä kaikki on niin tärkeää? Molekyyliekimia toimii tietyllä tavalla. Pitkän perinteisen tutkimuksen tuloksena voidaan sanoa, mikä tekee mitäkin. Esimerkiksi suolat liukenevat veteen kun taas emäkset eivät. Nykyään tosin tiedetään enemmän kuin pelkät suolat ja emäkset. Jos systeemibiologian mallit pitäisi ajaa datasta nojaten omiikkoihin, niin automaattinen oletus on se, että

täydellisin mahdollinen ontologinen status saavutetaan täydellisimmällä mahdollisella omiikalla (tai omiikoilla). Allekirjoittanut on sitä mieltä, että ajatus on jokseenkin irrotettu aktuaalisesta ontologiasta ja todellisuudessa pelataan oikeastaan episteemisillä tietokannoilla ja modaalisilla ehdoilla, joiden avulla tehdään malleja, jotka selittävät ja ennustavat. Ontologia tavallaan menettää merkityksensä olkoonkin niin, että data on kerätty empiirisesti. Katson, että ontologisten väittämien esittäminen on enemmän tai vähemmän merkityksetöntä itse systeemibiologian tekemisten kannalta. Meillä on episteemisiä tietorunkoja ja modaalisia mahdollisuuksia ja välttämättömyyksiä manipuloida niitä. Vaikka episteemisen ja modaalisen ominaisuuksia yhdessä voidaan pitää tietynlaisena vastineena ontologiselle todellisuudelle ja täten realismille, katson, että isomorfia todellisuuden ja systeemibiologisen mallin välillä on alun perin episteeminen – ei ontologinen. Tällä en kuitenkaan tarkoita sitä, etteikö jokin malli voisi olla enemmän tai vähemmän täydellinen suhteessa todellisuuteen, mutta se ei ole mallin ja sen episteemisten että modaalisten ehtojen olemassaolon ehto. Malli voi olla tosi, jos Luoja suo, mutta se ei kuitenkaan saa oikeutustaan siitä, miten tämä konkreettinen todellisuus levineen, ripsieläimiseen ja antibiootteineen toimii. On toivottavaa, että näin olisi, ja hyvin todennäköisesti onkin. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että episteemis-modaaliset mallit systeemibiologiassa ja täten koko systeemibiologia (omiikoista datansa keräävänä) edellyttäisi sitä. Jos ehdoksi esitetään maksimaalinen episteeminen spesifisyys, niin edes tässä tilanteessa (maksimaalinen, ei täydellinen) ei voida sanoa, että malli olisi realistinen niillä kriteereillä, mitä täydelliseltä omiikalta odotettaisi.

Jos taas ei nojata niin voimakkaasti omiikoihin vaan ylhäältä alas -strategiaan, niin dekompositio perusten funktionaaliseen ja/tai fysiologiseen vääristää mallia joka tapauksessa, kohtasi se toisessa päässä omiikat tai ei. Kuten aikaisemmissa luvuissa mainittua, mallit ovat aina abstrahoituja tai idealisoituja. Katson siis, että mallit ja mallien avulla johdetut selitykset systeemibiologiassa ovat episteemisen tietorungon ja empiirisesti testattujen ja niistä johdettujen modaaliteettien kannalta valideja, mutta ontologian kaipuu ei täyty sillä, vaikka omiikat olisivat miten täydellisiä tahansa. Oletetaan, että meillä olisi kaikki täydelliset omiikat koskien biologiaa. Tästä ei seuraa, että systeemibiologia toimii menestyksekkäästi sen takia, että meillä on täydelliset omiikat. Realismi sikseen mutta mitä tarkoitetaan holismilla? Vaikuttaa siltä, että systeemibiologit eivät oikein itsekään tiedä. Kohtasi asian sitten ylhäältä alas, tai alhaalta ylös -strategialla, niin osien rajanveto ja omiikoiden kummitteleminen tупpaavat aiheuttaa ongelmia ainakin silloin, jos puhutaan ontologiasta. Esittelemääni episteemis-modaalista kantaa tämä ei niinkään haittaa. Onko se täydellinen? Ei missään nimessä, mutta ontologinen kanta vaatisi sitä, kun taas

episteemis-modaalinen kanta toimii riippumatta siitä, mikä sen ontologinen status koskien esimerkiksi holismia, dekompositiota, realismia jne. on. Toisin sanoen, riippumatta siitä, käytetäänkö ylhäältä alas, vai alhaalta ylös -strategiaa, systeemibiologian mallien ontologia ei saa oikeutustaan toistaiseksi puhtaasti realistisena. Sama ongelma toistuu, oli suunta sitten kumpi tahansa. Ontologia tavallaan loppuu siinä vaiheessa, kun data on siirretty omiikoiden pankkiin. Se, mitä systeemibiologian tuloksilla taas tehdään, ei ole systeemibiologiaa. Se olisi mitä todennäköisimmin synteettistä biologiaa, farmakologiaa jne.

7 Loppusanat

Jos meillä on käsillä selitykset ja mallit, niin nämä voidaan muuttaa mekanistisiksi selityksiksi ja systeemeiksi. Mekanistiset selitykset siis korvaisivat tieteelliset selitykset ja nojaavat puhtaasti niihin funktioihin, joita nämä toteuttavat, ei niinkään niihin lopputuloksiin, joita näistä mekanismeista seuraa. Ne tekijät, jotka ovat siis osia suorittamassa näitä funktioita, ovat taas systeemin osia. Täten systeemin osat toteuttavat ne funktionaaliset roolit, jotka postuloidaan mekanistisille selityksille. Biologiset selitykset siis näyttävät nojaavan välttämättömiin ja mahdollisiin (modaalisiin) seurauksiin, joiden toteuttamisesta vastaavat tietyt systeemit, joilla ei ole vaihtoehtoa, kuin toimia tietyllä tapaan. Täten katson, että ontologinen kanta on sidoksissa modaaliseen kantaan, olkoonkin niin, että tulkinnat ovat episteemisiä.

Biologiset systeemit ovat oman ontologiansa kautta vangittuja modaalisiin välttämättömyyksiin, jotka mahdollistavat biologiset prosessit. Systeemibiologia tieteenä määrittelee näitä mahdollisuuksia ja välttämättömyyksiä, mutta ne ovat modaalisiin ominaisuuksiin sidottuja. Tulevaisuus mm. synteettisen biologian saralla ja monien mahdollisten avaruuksien tutkimusten seurauksena voi tätä muuttaa, mutta katson, että modaalinen mahdollisuus ja välttämättömyys pakottavat biologian toimivan tavalla, joka ei jätä epistemologialle juuri tilaa. Ontologiakin jää toissijaiseksi niiden modaalisten tekijöiden valossa, joita moderni biologia nauttii. Modaalinen kanta mahdollisuuksien ja välttämättömyyksiensä kautta on biologian kehityksen kannalta menestyvä filosofinen tapa tarkastella tämän tieteen kehitystä, sillä epistemologia on aina enemmän tai vähemmän kyseenalainen empiirisessä tieteessä, mutta myös sen ontologiset saavutukset ja päämäärät ovat enemmän tai vähemmän kyseenalaistettavissa. Systeemibiologia siis nojaa

mahdollisuuksiin ja välttämättömyyksiin malleissansa ja niistä tulkituista selityksistä. Ei niinkään ontologiaan, vaikka pohjatieto onkin empiirisen tieteen tuloksia.

Lähteet ja kirjallisuus

- Bailer-Jones, D (2009)** *Scientific Models in Philosophy of Science*. University of Pittsburgh Press. Pittsburgh.
- Barberousse, A.; Ludwig, P. (2009)** *Models as Fictions*. Teoksessa Suárez, M. (edit.), *Fictions in Science: Philosophical Essays on Modeling and Idealization*, New York, Routledge.
- Bechtel, W., ja Craver, C. F. (2007)** *Top-down causation without top-down causes*. Springer.
URL=<http://philosophyfaculty.ucsd.edu/faculty/pschurkland/classes/cs200/topdown.pdf> (28.5.2014)
- Bechtel, W. (2006)** *Discovering Cell Mechanisms*. Cambridge Studies in Philosophy and Biology. Cambridge University Press.
- Bechtel, W. (2010)** *Discovering Complexity*. The MIT Press.
- Bechtel, W. (2013)** *The Philosophy of Biology – A Companion for Educators*. Kampourakis, K. (edit) Springer Science & Business Me
- Bechtel, W., ja Levy, A (2013)** *Abstraction and Organization of Mechanism*. *Philosophy of Science*, Vol. 80, No. 2 (April 2013), pp. 241-26.1 The University of Chicago press. URL = http://www.arnonlevy.org/uploads/9/3/4/2/9342317/abstraction__org_of_mechs_pub.pdf (1.3.2015)
- Boogerd, F. C. (2005)** *Emergence and Its Place In Nature*. Springer. URL=<http://mechanism.ucsd.edu/~bill/teaching/f09/philsci/boogerd.emergence.2005.pdf> (1.3.2015)
- Boogerd, F. C. (2007)** *Systems Biology – Philosophical Foundations*. Boogerd, F. C. (edit). Elsevier B.V.
- Coffa, J. A. (1974)** *Hempel's Ambiguity*. Branden Fitelsonin kotisivut. URL = <http://www.fitelson.org/290/coffa.pdf> (24.4.2014)

- Codfrey-Smith, P. (2014)** *Philosophy of Biology*. Princeton Foundations of Contemporary Philosophy. Princeton University Press.
- Craver et al. (2000)** *Thinking about Mechanisms*, Philosophy of Science Vol. 67. University of Chicago Press
- Craver, C. F. (2002)** *Structures of Scientific Theories*. Teoksessa Machamer, P.; Silberstein, M. (edit.), *The Blackwell Guide to the Philosophy of Science*. Blackwell Publisher Ltd. Oxford. UK.
- Craver, C. F. ja Darden, L. (2005)** *Introduction: mechanism and the mechanical philosophy*. Stud. Hist. Phil. Biol. & Biomed. Sci. 36. Elsevier Ltd.
- Cummins, R (1975)** Functional Analysis. URL (10.5.2016) <https://mechanism.ucsd.edu/teaching/w10/cummins.functions.1975.pdf>
- Dougherty, E. R. (2011)** *Epistemology of a Cell*. Wiley-IEEE Press.
- Giere, R. N. (2004)** *How Models Are Used to Represent Reality*. URL:(10.10.2014) <http://www.tc.umn.edu/~giere/hmurr.pdf>
- Giere, R. N. (2009)** *Why Scientific Models Should Not Be Regarded as Works of Fiction*. Teoksessa Suárez, M. (edit.), *Fictions in Science: Philosophical Essays on Modeling and Idealization*, New York, Routledge.
- Glennan, S. (2005)** *Modeling Mechanisms*. Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences. 36. Elsevier Ltd. Indianapolis. URL=http://mechanism.ucsd.edu/teaching/f08/mechanism/readings/glennan.modeling_m_1dytksd-äpdyoyechanisms.2005.pdf (4.10.2014)
- Garson, J. (2008)** *A Companion to the Philosophy of Biology*. Sarkar, S. & Plutynski, A. (edit.). Blackwell Publisher LTD.
- Hempel, C. G. (1962)** *Explanations in Science and History*. Teoksessa R. G. Colodny (edit.), *Frontiers of Science and Philosophy*. The University of Pittsburgh Press.

- Illari, P. (2013)** *Mechanistic Explanation: Integrating the Ontic and Epistemic.*
URL=http://www.academia.edu/3008285/Mechanistic_explanation_Integrating_the_ontic_and_epistemic
(28.5.2014)
- Ingalls, B., ja Iglesias, P. (2010)** *Control Theory and Systems Biology.* Ingalls, B., ja Iglesias, P. (edit.). The MIT Press
- Khammas, M. (2010)** *Control Theory and Systems Biology.* Ingalls, B., ja Iglesias, P. (edit.). The MIT Press
- Knuuttila, T. (2005)** *Models as Epistemic Artefacts: Toward a non-representationalist account of scientific representation.* Helsinki. University of Helsinki.
- Knuuttila, T (2011)** *Modelling and representing: An artefactual approach to model-based representation.* Volume 42, Issue 2, June 2011, Pages 262–271. Elsevier Ltd. 2010
- Krosh, U., ja Callebbaum, W. (2007)** *Systems Biology – Philosophical Foundations.* Boogerd, F. C. (edit). Elsevier B.V.
- Lange, M. (2008)** *A Companion to the Philosophy of Biology.* Sarkar, S. & Plutynski, A. (edit.). Blackwell Publisher LTD.
- Mobus, G., ja Kalton, M. (2015)** *Principles of Systems Science.* Springer.
- Newton-Smith, W. H. (2000)** *A Companion to the Philosophy of Science.* Blackwell Publisher Ltd.
- Purves et al. (2008)** *Principles of Cognitive Neuroscience.* Sinauer Associates, Inc.
- Richardson, R. G., ja Stephan, A. (2007)** *Systems Biology – Philosophical Foundations.* Boogerd, F. C. (edit). Elsevier B.V.

- Roman, F., ja Hartmann, S. (2005)** *Scientific Models*. Teoksessa Sarkar, S.; Pfeifer, J. (edit.), *The Philosophy of Science: An Encyclopedia*, Vol. 2. New York. Routledge.
- Rosenberg, A. (2008)** *A Companion to the Philosophy of Biology*. Sarkar, S. & Plutynski, A. (edit.). Blackwell Publisher LTD.
- Schaffner, F. K (2007)** *Systems Biology – Philosophical Foundations*. Boogerd, F. C. (edit). Elsevier B.V.
- Salmon, W. C. (1971)** *Statistical Explanation and Statistical Relevance*. University of Pittsburgh Press.
- Salmon, W.C. (1978)** *Why Ask Why?* URL = <http://www.southalabama.edu/philosophy/poston/courses/documents/Salmon.pdf> (28.6.2015)
- Salmon, W. C. (1984)** *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*. Princeton University Press.
- Salmon, W. C. (1990)** *Four Decades of Scientific Explanation*. University of Pittsburgh Press.
- Salmon, W. C. (1998)** *Causality and Explanation*. University of Pittsburgh Press.
- Stanovich, K. E. (2013)** *How to Think Straight About Psychology*. Pearson Education, Inc.
- Schrödinger, E. (1944)** *What is life*. Cambridge University Press.
- van Fraassen, B. C. (1980)** *The Scientific Image*. Clarendon Press.
- Weber, M. (2008)** *A Companion to the Philosophy of Biology*. Sarkar, S. & Plutynski, A. (edit.). Blackwell Publisher LTD.
- Westerhoff & Kell (2007)** *Systems Biology – Philosophical Foundations*. Boogerd, F. C. (edit). Elsevier B.V.

Wolkenhauer O. & Ullah M (2007)

Systems Biology – Philosophical Foundations.
Boogerd, F. C. (edit). Elsevier B.V.

Woodward, J. (2003)

*Making Things Happen: A Theory of Causal
Explanation.* Oxford University Press.