

A fogalmi váltás

Az újraszerkesztés, kifejtés és hierarchikus beépülés folyamata

A fogalmi váltás meglehetősen tág fogalom, mellyel az ismeret-elsajátítás számos folyamatára utalhatunk, egymástól eltérő összefüggésekben. Tudjuk, hogy más rokon fogalmakhoz hasonlóan, mint például a metakogníció, konstrukció és együttműködő tanulás, ez is elengedhetetlen feltétele a tudományok tanulásának, de valójában nincs tiszta elképzelésünk róla, mit is értünk fogalmi változás alatt.

Léteznek tanulmányok a fogalomváltás folyamatairól a kognitív fejlődéssel, (1) a tudományos elméletek történeti konstrukciójával (2) és az irányított tudománytanulással kapcsolatban is. (3) Az eddigi próbálkozások ellenére, melyek hasonlítani vagy megkülönböztetni igyekeztek a fogalmi váltás ezen egymástól eltérő fajtáit, (4) még mindig nem tisztázódott, hogy melyek a hasonlóságok és különbségek köztük.

Mit értünk fogalmi váltás alatt?

A jelzett három (fejlődési, ismeretelméleti és irányítási) tartomány mindegyikében a fogalmi váltás gyaníthatóan más és más tanulási mechanizmusokat foglal magában. Újabb elméletek szerint a fogalmi váltást egy bonyolult folyamatként kell felfognunk, mely a különféle tanulási mechanizmusokból tevődik össze, mint gazdagodás (vagy fogalmi növekedés), finomítás (vagy fogalmi ismétlés) és átszerkesztés (vagy radikális fogalmi váltás). (5) A különböző tanulási folyamatok egybefoglalásából nyilvánvalónak látszik, hogy a radikális vagy erős fogalmi váltást a fogalmi felépítésben előforduló kisebb változásoknak kellene megelőzniük. Mégis mikor tesznek ezek a kis változások szükségessé egy radikálisabb átszerkesztést, és mikor nem? Mikor elengedhetetlen a radikális fogalmi váltás vagy átszerkesztés, és mikor nem? És pontosan *mi* az, ami megváltozik a fogalmi változásokor? Szükséges-e valamennyi elképzelés megváltoztatása, amelyeket a diákok az osztályterembe hoznak? Vajon valamennyi elképzelést egyformán érinti a fogalmi váltás, vagy valamilyen hierarchikus rendbe sorolhatjuk őket? A tanulók alternatív elképzelései vajon ugyanolyan mértékben összefüggőek, a többiekkel megosztottak és a fogalmi váltással szemben ellenállóak, vagy vannak megállapítható különbségek köztük? Ez utóbbi esetben pedig melyek a megkülönböztetés módszertani és elméleti feltételei? Valamennyi fogalmat ugyanolyan bonyolult megváltoztatni? És mi történik ezekkel, ha végül mégis megváltoznak? Végül, hasonlóak-e a fogalmi váltás folyamatai az ismeret különböző tartományaiban?

Természetesen ebben a tanulmányban nem próbálok határozott válaszokat adni ezekre a kérdésekre, de megkísérlem egy olyan elméleti váz felállítását, mely segítségünkre lehet néhány kérdés és még több válasz megfogalmazásában. Kiindulási pontul a tanulók alternatív vázlatai és elméletei szolgálnak, valamint a tudományos modellek kapcsolatában bekövetkező fogalmi váltással összefüggő kutatásban meghatározható négy eltérő elképzelés vagy hipotézis volt. Ezek a hipotézisek, melyek többnyire inkább rejtetten, mint nyilvánvalóan vannak jelen, a következők: a kétfajta ismeret közti *összeegyeztethetőség* vagy

ezek *összeegyeztethetelensége, együttélésük vagy függetlenségük*, végül az alternatív elméletek tudományosakba történő lehetséges *hierarchikus beépülése*. Ezekre az elemzésekre alapozva a fogalmi váltás három, egymással kapcsolatban álló folyamatát javaslom: fogalmi átszerkesztés, haladó elméleti kifejtés és visszatérő hierarchikus beépülés.

Az összeegyeztethetőség hipotézise

A diákok elméletei és a tudományos elméletek közti kapcsolatokról elsőre azt mondhatnánk, hogy ezek alapvetően hasonlóak egymáshoz. Bár tartalmukban és gazdagságukban nyilvánvalóan eltérnek egymástól, valójában ugyanazon kognitív folyamat eredményei. A problémák megoldására a tanulóknak és a tudósoknak egyazon szellemi eszközök állnak rendelkezésükre, de a tudósok jobban képzettek ezeknek a szakterületükön történő hatékonyabb felhasználására. E szerint az elképzelés szerint mondhatjuk, hogy a diák agya tulajdonképpen *formattálva van* a tudomány elsajátítására, vagyis „tudományprogramok futhatnak” benne. A tanulóknak nem kell újraformálni, vagy *Karmiloff-Smith* szakkifejezése szerint „újraírni” az elméleteiket, (6) csupán az ismeretek növelésére vagy finomítására van szükségük. Nem szükséges viszont a radikális fogalmi váltás, mivel a tudomány és a józan ész alapvetően összeegyeztethetőek.

Bár ez a feltételezés nem túl elterjedt a természettudományok tanulása és oktatása terén folytatott kutatásokban, mégis számításba kell vennünk, tekintve, hogy még mindig népszerű felfogás a természettudományok tanárai körében, figyelembe véve, hogy mennyi természettudományi tantervet készítenek és értékelnek. Ráadásul ezen elképzelés számos szerzőnél kifejezett támogatásra talált. Így racionalista szerzők feltételezték, hogy az emberi agy endogén módon van ellátva bizonyos szerkezetekkel, melyek az érzékelés és a fogalomalkotás elrendezésére szolgálnak, és hogy ezek a szerkezetek többnyire velünk születettek és megváltoztathatatlanok. Információ-feldolgozásunkat és ismereteinket ezek a kognitív modulok tartják irányításuk alatt, oly módon, hogy tapasztalat és tanulás nem változtatja meg, csupán gazdagítja őket. Spelke például egy tiszta folyamat védelmében érvel, mely szerinte a gyermek–tárgy kapcsolatot irányító alapelvektől – mint például összefüggés, folyamatosság és kapcsolat – egészen a felnőttkori intuitív fizikáig tart. Néhanyan még azt is fenntartják, hogy az újonc–tudós közti átmenet bizonyos szakterületeken nem jár együtt erős átszerkesztéssel, csak az ismeretek finomításával.

Azok a szerzők is megvédték az összeegyeztethetőség hipotézisét, akik feltételezik, hogy a gyerekek és a felnőttek tudósok módjára viselkednek, mikor felépítik a modelleket, melyeken keresztül a világot értelmezik. A *George Kelly-féle* „az ember mint tudós” metafora, (7) de akár a fiatalkori és felnőtt gondolatnak *formai operational*-ként való meghatározása (8) is azt sugallja, hogy a mindennapi és tudományos ismeretek egyazon folyamaton alapulnak. Mégis számtalan okot találunk, amiért megkérdőjelezhetjük ezt a hipotézist, nemcsak gyerekek, hanem felnőttek esetében is. Nehéz ma fenntartani azt a véleményt, miszerint több területen „tudományos racionalitás” irányítja tanulásunkat és döntéshozatalainkat. (9) A tanulók alternatív elméletei egy másfajta racionalitásból erednek, a józan észből, s a pragmatikán, implicit tanuláson, heurisztikán és elfogultságon stb. alapulnak. (10)

Így az „emberi lény mint tudós” metafora nem megfelelő. De ez nem elegendő ok ahhoz, hogy feladjuk az összeegyeztethetőség gondolatát. Igazság szerint a hipotézisnek egy új változata jött létre a fenti metafora alaptagjainak megfordításával. Valóban, az emberi lények nem feltétlenül viselkednek tudósként, de talán a tudósok viselkednek emberi lényként! A természettudományok úgynevezett kognitív modelljei az emberek által nap mint nap és a természettudományok művelésekor felhasznált kognitív folyamatok és gondolati ábrázolások közti hasonlóságot hangsúlyozzák.

Ezen modellek szerint a tudomány olyan feladat, mely nem különbözik a mindennapi tudástól, mivel a tudományos gondolkodásról vallott hagyományos nézetekkel ellentétben a tudósok munkájukat egyazon kognitív eszközökre alapozzák, amelyeket a kognitív

pszichológiával foglalkozók naivabb tárgyak és egyszerűbb feladatok esetében is meghatároztak, mint például a prototipikus kategóriák, az implicit ismerete, a heurisztika, a feltelezhető elfogultság és téves következtetés stb. (11)

Hogyan lehetséges hát, ha a tudományos és józan ésszel való gondolkodás összeegyeztethetőek, hogy a természettudományok tanulása a legtöbb embernek mégis nehézséget okoz? Ha a diákok agya „formattálva” van a természettudományokra, miért jelent mégis ennyi problémát, hogy a programokat benne lefuttassák? Valójában a szakemberré válás folyamatában számos felgyülemlett vagy folyamatos módját határozhatjuk meg az ismeretek növekedésének, de ugyanakkor az alkalmankénti erős átszerkesztést vagy radikális fogalmi váltást is. (12) Ahhoz például, hogy valaki a *Newton-féle* mechanika szakemberévé váljon, nem kevés olyan alapelvet kell magában elgyőznie, melyek az erőről és mozgásról alkotott intuitív elképzeléseinket irányítják, s melyeket már gyermekkorunktól mélyen belénk ültettek. Ebben az értelemben vannak tudományos elméletek, melyek nem összeegyeztethetők ugyanazon tartományban az intuitív, józan ész által felállított modellekkel.

Az összeegyeztethetlenség hipotézise

Az elemzett előfeltevéssel ellentétben a természettudományok tanulásával és oktatásával kapcsolatban végzett legutóbbi kutatások is azt mutatták ki, hogy a tudományos elméletek bizonyos értelemben összeegyeztethetetlenek a diákokban kialakult alternatív vázlatokkal, így módon a természettudományok tanulása az ismeretek növelése mellett egy radikális fogalmi váltást is eredményez az elsajátított tudományos fogalmak értelmezésekor. A különböző szakterületeken a diákok fogalmáról írt eddigi, meglehetősen terjedelmes szakirodalom rávilágított, (13) hogy az olyan fogalmak, mint az erő, energia, hő, égés, természetes kiválasztódás vagy vákuum, nagyon eltérő jelentéssel bírnak a tudósok, valamint a diákok agyában. De, bár számos tanulmány az ezekben a fogalmakban mint elszigetelt ideákban végbemenő változásokra összpontosít, a fogalmi változás tulajdonképpen a fogalmak közti kapcsolatosak egyazon *elméleten* belüli újrendezését jelentené. A fogalmi változásnak magukat az elméleteket, melyekbe a fogalmak be vannak ágyazva, kellene megcéloznia és azokat értelmessé tennie.

De ezen diákok által alkotott *szakterületi elméleteknek* vagy szellemi modelleknek (a fotoszintézisről, égésről vagy gravitációról) a jelentését viszonzásképpen az *implicit elméletek* határoznák meg, (14) vagy, *Vosniadou* kifejezésével élve, a „vázlat-elméletek”, melyek létrehozói egy sor olyan implicit feltevésnek, melyek szűkítik a tanulók által különböző szakterületeken létrehozott elméletek ismeretelméleti, ontológiai és fogalmi természetét. Ezek az implicit leszűkítések adnák meg a szakterületi elméletek, feltevések formáját, így a fogalmi változás egy részletes kifejtés, explikálás általi újraformázást vagy újraírást igényelne. ahogyan a diákok az energiát, hőt vagy kémiai egyensúlyt felfogják, az csupán az ő implicit elméleteik jéghegyeinek csúcsa.

De mik ezek az implicit feltevések, melyeken a diákoknak változtatniuk kellene annak érdekében, hogy közelebb kerüljenek a tudományos elméletek jelentéséhez? Minek kell a fogalmi változás során megváltoznia? A választ elsőként *Carey* fogalmazta meg, megszabván az erős újraszerkesztésnek vagy radikális fogalmi váltásnak három feltételét. Az ő modellje szerint csak akkor találkozunk fogalmi váltással, ha a tanulás vagy elméleti felépítés szükségessé teszi:

- a) a magyarázott jelenség szakterületének megváltoztatását;
- b) az elfogadott magyarázatok természetének megváltoztatását; és
- c) az elmélet központját alkotó egyéni felfogások megváltoztatását.

Ezt a meghatározást támasztják alá a mind a természettudományok történetében, mind az osztályteremben felbukkanó fogalmi váltások prototipikus esetei. Ezt a váltást foglalja magában az átmenet a középkortól a newtoni mechanikáig. A magyarázott jelenség szakterületét

változtatja meg, mivel az egyetemes tömegvonzás törvénye ugyanazokkal az alapelvekkel magyaráz jelenségeket, melyekre a középkorban más és más magyarázatot kerestek, például a szabadon eső tárgyak és a bolygók pályamenti mozgásának esetét, s tágabban magyarázható összefüggéseket kínál, ezáltal növelve a fogalmi változás létrejöttének esélyeit. szintén megváltozik a magyarázatok váza, mivel a newtoni modellben nem a tárgyak mozgását, hanem inkább a mozgásukban lezajló változást kell értelmeznünk. Végül mindez együtt jár az elmélet központi fogalmainak megváltozásával is [inercia (tehetetlenség) az impetus (hajtóerő) helyett].

Ezzel együtt Carey is elismeri, hogy ez a modell nem teszi lehetővé, hogy eldöntsük, mikor szükséges a természettudományok tanulásakor az erős újraszerkesztés. Részletesebben körül kell írunk, mik azok az implicit feltevések, melyek a tanulók elméleteit összeegyeztethetlenné teszik a tudományos elméletekkel. A fogalmi változás elméletével kapcsolatban Vosniadou azt állítja, hogy a tudományos elméletek és a diákok szakterületi elméletei vagy szellemi modelljei között alapvető összeegyeztethetlenség van, és ez olyan ismeretelméleti feltevéseknek tudható be, melyeket az elmélet-váz vagy implicit elmélet ültet a diákok befogadó rendszerébe. Vosniadou fenntartja, hogy ezek a feltevések a naiv fizika „globális elméletének” részei, az ember kognitív rendszerével veleszületett bizonyos hajlamok és a mindennapi életben való tanulás termékei. (15) Ő példaképpen azokat a feltevéseket elemezte, melyeken a diákoknak az erővel kapcsolatos elméletei alapulnak. Feltételezvé, hogy az erő ugyanúgy tulajdonsága valamely tárgynak, mint az alakja vagy a színe, nem pedig egy viszony, vagy azt gondolván, hogy minden magyarázatnak és mozdulatnak van egy okozó alanya, a diákok annyira leszűkítik az erővel kapcsolatos elgondolásait, hogy végül képtelenek lesznek az erő newtoni modelljének felfogására.

Vosniadou más területekről is hoz példákat a tanulók elméletei alatt rejlő feltevések illusztrálására, mint a hó vagy a nappal és éjszaka váltakozása. Mégsem világos, hogy vajon feltevések egy zárt listájával állunk-e szemben, mely valamennyi szakterületen közös, vagy az összeegyeztethetetlen feltevések területről területre mások. Ha a fogalmi változás néhány, józan ésszel alkotott elmélet alapvető feltevéseinek módosítását tenné elkerülhetővé, akkor ezek a feltevések vajon területről területre hasonlóak-e? És ugyanígy a különböző szakterületek tudományos elméletei ugyanazokat az előfeltevéseket osztják?

A fogalmi változás egy másik, *Chi* által kifejtett elmélete sokkal zártabb és részletesebb összeegyeztethetlenségi feltételeket javasol. Modelljében *Chi* azt sugallja, hogy a tudományos elméletek és a diákokéi között akkor szükséges a fogalmi váltás, ha azok közt ontológiai összeegyeztethetlenség áll fenn. Szerinte az emberek korlátozott számú ontológiai kategóriák szerint osztályozzák a tárgyakat, melyekhez aztán tulajdonságokat társítanak. Így valamennyi entitást alapvetően három kategória (anyag, folyamat és szellemi állapot) határoz meg, melyek természetesen tovább bonthatók alkategóriákra. Általában akkor elengedhetetlen a fogalmi váltás, ha valamely entitást egyik alapkategóriából a másikba szükséges léptetnünk (pl. annak megértéséhez, hogy a gőz az nem az anyagnak egy állapota, hanem egy folyamat, vagy akár az erő, akár az energia nem az anyag tulajdonságai, hanem kölcsönhatási folyamatok stb.).

Ha a fogalmi változás az ontológiai kategóriák újrendezését jelenti, akkor miért fordul elő mégis, hogy néhány újrendezés (vagy ontológiai újrendelés) radikális fogalmi váltással jár, míg másokat jóval könnyebben elérhetünk? Például egy élőlény élettelenként való újrakategorizálása, a gyermeki animizmus legyőzése kisebb változást jelent, mert ez csupán ontológiai alkategóriákat érint. Ezzel ellentétben egy ténynek, mint például egy betegségnek kölcsönhatási jelenséggé való átfarmálása – mindkettő ugyanolyan alkategória –, mely szintén kézenfekvő kellene legyen, mégis radikális fogalmi váltást kíván.

A *Chi*, *Slotta* és *de Leeuw* által elemzett radikális fogalmi váltásokat sokkal inkább a jelenleg bizonyos feltételek által kikényszerített kölcsönhatásként való értelmezésének nehézsége okozza, mint az ontológiai újraszerkesztési folyamat, mivel ezek *Chi* elmélete szerint alapvetően magukban foglalják az ontológiai kategóriák valamelyikét: a „kényszeren alapuló kölcsönhatást”, az egyensúlyi állapotokat, melyeknek se vége, se eleje, okozójuk nem állapítható meg, és melyekben különböző rendszerek egyidejűleg lépnek kölcsönhatásba. Ilyen például az

anyagának mint állandó kölcsönhatásban álló részecskének vagy a hőnek mint az energiaátadás és egyensúly problémájának felfogása. Egy szabadon eső tárgy, egy kémiai reakció vagy a természetes kiválasztódás ezen kategórián keresztül történő értelmezése eleve feltételezi, hogy a fogalmi rendszerünkben létezik róluk egy fogalom, mely a dinamikus egyensúlyról, a nem megfigyelhető tulajdonságok megmaradásáról és a kölcsönhatásról alkotott feltevésein-ken alapul, három, *Inhelder* és *Piaget* által javasolt formal operational sémán, (16) melyek átmenetet képeznek a kialakult gondolat és a határozott szakterületi fogalom között. E három tulajdonság meglehetősen eltér a józan ész által létrehozott fogalmi rendszerektől, melyek egy időszakos sorrendben belüli lineáris, egyirányú érvelést feltételeznek. A radikális fogalmi váltást igénylő tudományos koncepciók többségét úgy kell felfognunk, mint *dinamikus rendszereken belüli kölcsönhatásokat*, melyek megértését a megmaradás, egyensúly és kölcsönhatás fogalmaira kell építeni.

Így a newtoni mechanikában az akció és reakció alapelve nem intuitív, mivel az kölcsönhatást tételez fel a két egymásra ható vonzó erő között, ami aztán eléri az egyensúlyi állapotot, míg az intuitív fogalom egyszeri ok-okozati kapcsolatra épül, mely szerint a nagyobb tömeg (mondjuk a Földé) fejtene ki vonzóerőt a kisebb tömegre (pl. egy köre). Az a hajlam, a mindennapok szükséges velejárója, hogy helyzeteket leegyszerűsítsünk, megakadályozza, hogy figyelembe vegyünk a két változó vagy fogalmi rendszer közti kölcsönhatás fennállását. Anyagról alkotott fogalmunk súgja nekünk, hogy ha egy ing megszárad a napon, akkor a szél fújja el a vízrészecskéket belőle: az anyagot nem úgy fogjuk fel, mint ahogy a kémia is tanítaná, hogy a részecskék közti folyamatos kölcsönhatás, és a nap vagy a szél energiája a vízrészecskék felépítését módosítva csupán vízpárává változtatja azokat. (17)

Az implicit elméletek egy másik, az előzővel szoros kapcsolatban álló szerkezeti leszűkítését az a hajlam eredményezi, hogy a mindennapi ismeret inkább a változásokra, mint az állapotokra összpontosít. Piaget-i szakkifejezésekkel élve azt is mondhatnánk, hogy a diákok implicit fogalomalkotása inkább összpontosít arra, ami megváltozik, mint arra, ami megmarad. A tudományos fogalmak többségében mégis inkább a tulajdonságok megmaradásáról van szó, ami többnyire, a jól látható változásokkal szemben, megfigyelhetetlen. Így nehéz megérteni, hogy egy kémiai reakció vagy egy oldódás során megmarad a tömeg, de az energia megmaradásának törvényei vagy a mozgási energia mennyiségének fennmaradása is érthetetlennek tűnik. Ez a nehézség is a korábban már említett, az eseményeket egy lineáris ok-okozati rendszerben magyarázó hajlamhoz köthető.

Az az elgondolás, miszerint az események láncolata egyirányú, okozza, hogy a változásra (akció) figyelünk, és elhanyagoljuk a reciprok hatásokat (reakció), melyek a megmaradást biz-

Az az elgondolás, miszerint az események láncolata egyirányú, okozza, hogy a változásra (akció) figyelünk, és elhanyagoljuk a reciprok hatásokat (reakció), melyek a megmaradást biztosítják. A világ dinamikus egyensúlyi rendszerként való értelmezése a tudományos gondolkodás egyik legfontosabb érdeme.

A tudományos elméleteket a körkörös (ciklikus) egyensúly fogalmára építik, mely nem foglal magában kezdetet és véget; ezt példázza a vérkeringés, a hőegyensúly vagy a gazdaság működése. Az implicit elméletek viszont mindig olyan eseménysorra épülnek, melynek van egy kezdete vagy kiváltója (a törülköző „adja” a meleget, a hőt), és egy vége vagy hatása (a hőt a törülköző átadja a testnek), tehát inkább a helyzeti (kontextuális) változásokat kísérik figyelemmel, mint az állandó rendszert, a dinamikus egyensúly állapotát.

tosítják. A világ dinamikus egyensúlyi rendszerként való értelmezése a tudományos gondolkodás egyik legfontosabb érdeme. A tudományos elméleteket a körkörös (ciklikus) egyensúly fogalmára építik, mely nem foglal magában kezdetet és véget; ezt példázza a vérkeringés, a hőegyensúly vagy a gazdaság működése. Az implicit elméletek viszont mindig olyan eseménysorra épülnek, melynek van egy kezdete vagy kiváltója (a törülköző „adja” a meleget, a hőt), és egy vége vagy hatása (a hót a törülköző átadja a testnek), tehát inkább a helyzeti (kontextuális) változásokat kísérik figyelemmel, mint az állandó rendszert, a dinamikus egyensúly állapotát.

Ezen elemzés szerint a fogalmi váltás a különböző szakterületeket érintő olyan ismeretelméleti, ontológiai és fogalmi feltevések megváltoztatását kívánja, melyek implicit módon alakítják a diákok fogalmait és ellentmondanak a tudományos elméletek feltevéseinek. Így nem csoda, hogy a „kognitív konfliktuson” keresztül előidézett fogalmi váltással operáló oktatási módszerek, melyek a *Posnerék (18)* által hangoztatott hagyományos feltevéseket követik, nem hozták meg a várt eredményeket, mivel ezek a módszerek általában a tanulók által fenntartott fogalmak megváltoztatását tűzték ki célul, anélkül, hogy kicserélték volna az alapelveket, melyekre azok épültek. Ezen implicit feltevések megváltoztatásához a haladó kifejtés (progresszív explikáció) folyamatára lenne szükség, amely olyan metakognitív vagy metakonceptuális eljárás, mely felhívja a diákok figyelmét saját ismereteik és a tanult tudományos modellek közti összeegyeztethetlenségre. (19)

A fogalmi változás nem csak a fogalmak újraszerkesztését jelenti. Mindenekelőtt a haladó kifejtés folyamatát jelenti a tanulók kezdeti elgondolásaitól az új fogalmi szerkezetek felépítéséig, melyekbe majd azok beleágyazódnak. Eleinte az elméletek rejtve, implicit módon vannak jelen, és egyre kifejtettebbé (explicitté) vagy, *Karmiloff-Smith* kifejezése szerint, *újraírttá* kell válniuk, hogy megváltoztathassuk őket. Az *implicit* és *explicit* nem a tudás két elmentés kategóriája, hanem egy folyamatos dimenzió két végét kellene érteni alattuk. (20) A dimenzió implicit végén a rejtett tanulásnak olyan elemi formáit találjuk, melyekben az alanyok nem válaszolnak a tanulási ingerre. A másik végén viszont a szakterületek tudományos modelljeire történő reflektálásnak és azok újraszerkesztésének tudatos folyamatát találjuk.

A természettudományok tanulásának egy lényeges pontjához akkor érkezünk el, mikor a hallgatók tudatosan kifejtett modelleket használnak a világ értelmezéséhez, mikor már nemcsak annak elemeit és feltevéseit, hanem magát a modellt is képesek kifejteni, és tisztában vannak használatával. Modelljeiket vagy elméleteiket metakognitív módon kell használniuk, mivel a tudomány is inkább a modellekről, mint az általuk megjelenített valóságról tájékoztat. Az oktatásban a fogalmi váltást tehát egyre mélyülő kifejtésen keresztül kellene létrehozni, hogy képesek legyünk megkülönböztetni és egybeolvasztani józan ésszel alkotott tudományos elméleteket, ahelyett, hogy közvetlen kognitív konfliktust idéznénk elő köztük.

Így a fogalmi változás metafogalmi változássá lép elő. A diákokat eltérő, sőt ellentmondó modellekkel kell szembesíteni, hogy megértsék azok összeegyeztethetőségét vagy összeegyeztethetlenségét. Ezenkívül szükséges, hogy az oktatás új, sokkal összetettebb fogalmi és ontológiai rendszerekben folyjon. A természettudományok tanulása tulajdonképpen a különböző modellek összehasonlítása, kifejtése és azon feltevések megértése, melyeken ezek alapulnak. De ha a tanulók már elérték a kifejtés lehetséges legmagasabb fokát, akkor mihez fogjanak a különböző megjelenési alternatívákkal? Választanak egyet és a többi elhanyagolják: Vagy fenntarthatnak egyszerre egymástól eltérő képzeteket?

A hagyományos gondolkodás, ha rejtetten is, de a fogalmi változást egyfajta fogalmi felcseréléssel azonosította. A tudományos fogalmak és elméletek sokkal összefogottabbak, jobban magyarázóttak és pontosabbak az alternatíváknál, így sokkal erősebb és hatékonyabb képzeteket keltenek. A diákoknak az ismeret szegényes formáit erőteljesebbekre kellene cserélniük. Valójában számos oktatással kapcsolatos tanulmány célja is a diákok fogalmainak tudományosakra cserélése volt. Ez a cél azonban messze nem volt elérhető; *Duit* világosan kimondja: „Meg kell állapítanom, hogy a diákok fogalmi rendszerével kapcsolatos kutatások legjobb bibliográfiáiban sincs egyetlen tanulmány (...), melyben egy bizonyos tanuló

fünt említett mély gyökerű fogalmait teljesen eltörölné vagy kicserélné egy új elképzelés. A tanulmányok többsége kimutatta, hogy az új fogalmak elfogadtatásával igen csekély sikert értek el, és a régi fogalmak alapvetően »életben maradtak« bizonyos összefüggéseket illetően. Ez a nyilvánvaló sikertelenség is talán a fogalmi változás tisztán kicserélésként való felfogásából ered. A legtöbb esetben nemcsak valószínűtlen, hanem szükségtelen is a tanulók fogalmainak kicserélése. A fogalmi változás gyakran nem a képzetek kicserélésének folyamata, hanem azok sokszorosítása, variálása más és más összefüggésekben és célok érdekében. Ezt az alapvető elgondolást tartalmazza a fogalmi változás együttélési hipotézise.

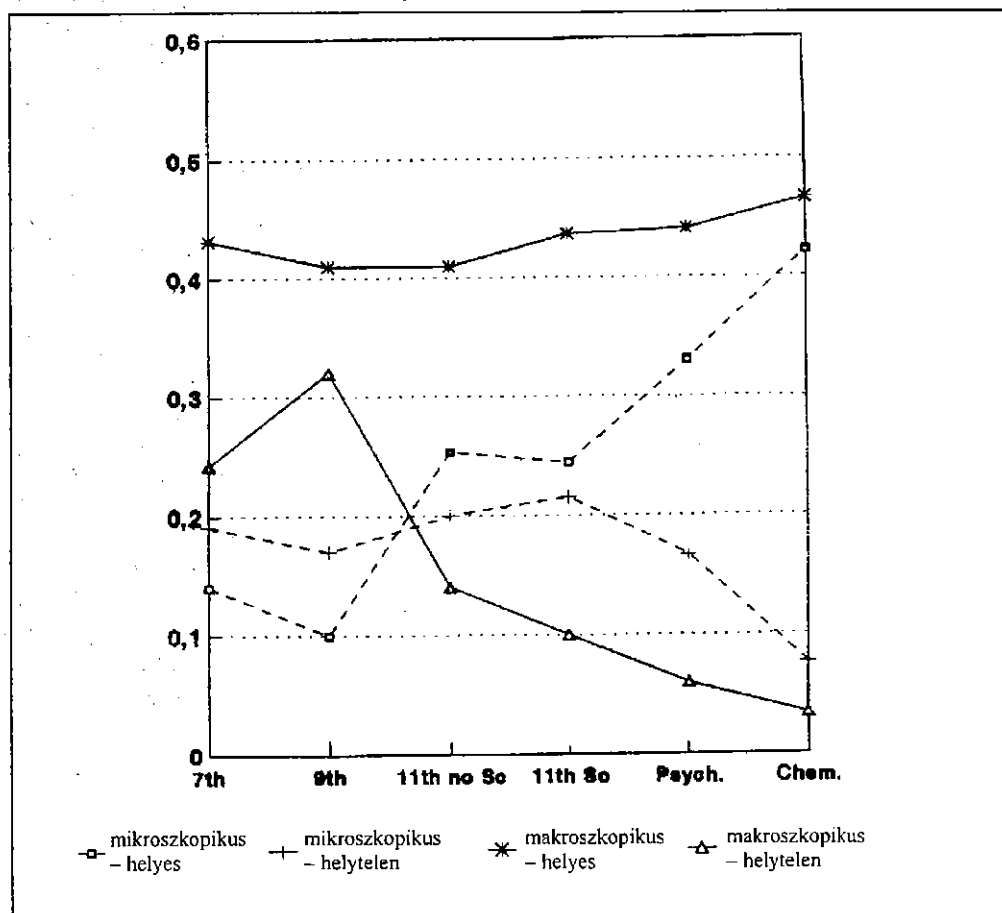
Az együttélési hipotézis

Az előző felfogással szemben a fogalmi változás újabb elméletei már azt sugallják, hogy ahelyett, hogy a diákok a természettudományok elsajátítása során megtagadnák az ésszel felállított elméleteket a tudományos modellek javára, inkább arra kellene felkészíteni őket, hogy képesek legyenek különbséget tenni köztük, és a megfelelő összefüggésekben és célok érdekében alternatív módon felhasználni őket. (22) Ez a megközelítés, a pozitívista elvekkel szemben, melyek a tudomány minden más ismeret (pl. józan ésszel alkotott elméletek) feletti mindenhatóságát hirdetik, kiemeli e nagyon összetett ismeretrendszerek használatának eltérő összefüggéseit. Konkrétan, a tudományos modellek „futtatásához” jól meghatározott helyzetekre, bizonyos fokú pontosságra, reflektálási időre, a döntéshozatal lassú folyamatára és a hipotézis ellenőrzésére van szükség. A mindennapokban általában kétértelmű vagy rosszul meghatározott feladatokkal találjuk magunkat szemben, anélkül, hogy elegendő időnk lenne döntéseinket reflektálni. Tehát az alternatív vagy józan ésszel alkotott elméletek pragmatikai szempontból nem feltétlenül tévesek vagy „rosszul felfogottak”. Sőt, igen gyakran alkalmazhatók és fenomenológiailag hitelesek. A mindennapi tudás jól alkalmazható, mert ez az implicit tanulás folyamatainak eredménye; kevés rugalmassággal ugyan, de annál több határozottsággal és kognitív gazdaságossággal jár. A mi intuitív mechanikánk például, bár tudományos oldalról nézve helytelen, mégis nagyon jó következtetési alap. Ahogy *Di Sessa* ironikusan megállapította, a newtoni mechanika egyetlen hátránya, hogy mi egy nem newtoni világban élünk, mely súrlódásokkal és láthatatlan mozgásokkal van tele, és amelyben a tárgyaknak megvan az a kellemetlen szokása, hogy nagymértékben eltérnek az általunk ideálisan elvárt „egyenes vonalú egyenletes mozgástól”. El kell ismernünk, hogy az implicit elméletekben gyökerező, józan ésszel szerzett ismeretek számos összefüggésben nemcsak gazdaságosabbak, hanem előremutatóbbak is a jóval bonyolultabb tudományos modelleknél. Másrészt viszont ezek az alternatív elméletek gyakran nagyon köznyelvi. Mindannyian, beleértve a fizikusokat is, azt mondjuk: „a nap holnap 7,25-kor kel fel”, közben pedig jól tudjuk, hogy nem egészen a nap az, ami másnap felkel.

Mіндеzen okok miatt ebből a megközelítésből a fogalmi változást nem az elméletek kicseréléseként, hanem azok megkülönböztetéseként fogjuk fel. Ahogy összefoglalójában Duit is kiemelte, a fogalmi változással kapcsolatos oktatási kutatások sem támasztották alá az elméletek kicserélését. (23) Ezt az eredményt általában tanítási kudarcként értelmezik, mivel a tanulók nem sajátították el kellő mértékben a természettudományokat. Mindemellett azt találtuk, hogy a természettudományok szakemberei sem hanyagolják el józan ésszel alkotott képzeteiket. Egy kutatás során fiatalok különböző csoportjaival és kémia-pszichológia szakos végzős egyetemi hallgatókkal végeztettünk el a mindennapi helyzetek értelmezésével kapcsolatos feladatokat (pl. miért szárad meg szeles időben hamarabb az ing?; miért oldódik fel a kockacukor hamarabb a forró kávéban, mint a hidegben? stb.). A kutatási alanyok válaszait az általuk használt képzetek, fogalmak szerint osztályoztuk, legyenek azok mikroszkopikus, molekuláris kölcsönhatásokon alapuló vagy makroszkopikus, józan ésszel alkotott ismeretek. Mindkét esetben figyelembe vettük, ha az alany fogalmi hibát vétett, főként azzal, hogy nem téve különbséget a kétfajta képzet között, mikroszkopikus részecskéknél makroszkopikus jellemzőket tulajdonított, vagy fordítva.

Amint azt az 1. ábra mutatja, megállapítottuk, hogy mindegyik csoport az anyagnak legalább kétféle képzetét használja, az egyik annak megfigyelhető tulajdonságain alapul, a másik az anyagnak mint részecskék összességének a felfogásából ered. A minket érintő legérdekesebb eredménynek az bizonyult, hogy a kémiaoktatás nem törölte ki az anyag makroszkopikus képzetével kapcsolatos fogalmakat, és le sem cserélte őket a részecskeelmélettel. Ezzel ellentétben, a két modell együttesen fennáll, és alternatív képzetekként használják őket még a kémiában viszonylag jártas tanulók is. Sőt, a józan ésszel szerzett ismeretek (a grafikonon helyes makroszkopikus képzetek) használata meglehetősen következetes és független a kémia oktatásától. A válaszok csaknem 50 százaléka bármelyik csoport esetében ezeken alapul.

Milyen hatása volt akkor a kémia tanításának? A legnagyobb különbség a kémiában jártasak és a fennmaradó csoportok között az volt, hogy az előbbieket különbséget tettek a kétfajta ismeret között, és nem vétettek hibát azáltal, hogy összekeverték volna őket. A fiatalok másik csoportja nem tudott helyesen különbséget tenni az anyag elemzésének makroszkopikus és mikroszkopikus szintje között, és gyakran hibát vétett azzal, hogy a részecskéknek szemmel látható jellemzőket tulajdonított. Egy másik lényeges különbség, amit az 1. ábra nem tükröz, az volt, hogy a végzős kémia szakos hallgatók sokkal többször használták a részecskeelméletet olyan helyzetekben, melyek részletes magyarázatot vagy újraírást igényeltek a pusztán leírás helyett. A többi fiatal azonban sem a célok, sem a képzetek használatának különböző összefüggései között nem tett különbséget.



1. ábra

A csoportok szerinti képzetek közepáránya (a hibákkal együtt)

Összefoglalva, a természettudományok tanulása nem jelenti az implicit feltételeinken alapuló alternatív fogalmaink feladását, hanem inkább ezek valóban alternatív, eltérő ismeretrendszerként való felfogását szorgalmazza, melyeket különböző összefüggésekben és célokra alkalmazhatunk. Az elméletek alternatív alkalmazását befolyásoló kontextuális változókat azonban még alig tanulmányozták. (24) Több kutatásra lenne szükség az elméletek összefüggésekbeli alkalmazhatóságának témájában. Nagyon nehéz követelmény a fogalmi változás valamennyi elméletével szemben, hogy megjósolják és magyarázzák, hogyan alkalmazzák a kutatási alanyok ismereteiket bizonyos összefüggési változók szerint, és hogyan válik a kontextus szerepe mialatt valakiből egy területen szakember.

De ha a természettudományok tanulása a diákok képzeiteit hivatott sokszorosítani, hogy ezáltal „fogalmi gazdaságukat” gyarapítsa, akkor hogyan értelmezzük a különböző képzetek együttélését? Azt jelentené ez, hogy a fogalmi váltás nem szükséges? Vajon az oktatásnak össze kell kötnie a kétfajta ismeretet, vagy inkább függetlenítenie kell őket egymástól? Alkalmazzák-e a diákok a józan ésszel szerzett ismereteiket iskolai környezetben, ahogy a konstruktivista megközelítés javasolja, vagy tartásuk őket távol az iskolai kontextusoktól? Ez a helyhez kötött kogníciós eljárás vajon tovább csökkenti az ismeretek egyik kontextusból a másikba való átvitelének lehetőségét? Talán megoldás lehetne, hogy az elméleteket és összefüggéseket nem különítjük el egymástól (hiszen a tanulási stratégiákkal kapcsolatos tanulmányok szerint már maguk a diákok is ezen fáradoznak), hanem az elméleti megkülönböztetésen túl egyfajta hierarchikus beépülést teszünk lehetővé a számukra. Így a tudományos és józan ésszel alkotott elméleteket nem csupán alternatív fogalmakként, hanem ugyanazon történés alternatív elemzési szintjeiként, képzeiteiként foghatjuk fel.

A hierarchikus beépülés hipotézise

Ezen hipotézis elméleteinek más és más összefüggésekben való alkalmazása valóban megköveteli a fentebb leírt fogalmi váltást. Ebben az értelemben a fogalmi váltás előző három megközelítését próbálja összeegyeztethetővé tenni, mivel feltételezi, hogy a tudományos elméletek és a diákokéi bizonyos szempontból összeegyeztethetők lennének, de gyakran az ontológiai, ismeretelméleti és fogalmi megszorítások, melyekre azok épültek, összeegyeztethetetlenek. Ezt az összeegyeztethetlenséget nem a régi elméletek kicserélésével, hanem azok megkülönböztetésével és a bonyolultabb fogalmi rendszereken alapuló, gazdagabb, rendezettebb és kifejtettebb tudományos elméletekbe alacsonyabb elemzési szintként való beépítésükkel kell legyőzni. A fogalmi megkülönböztetésnek és beépítésnek e folyamata feltételez némi metakognitív tudatosságot a diákok részéről, mivel képesnek kell lenniük arra, hogy kifejtsék az elméleteket alátámasztó feltevéseket és rendszereket. Az egyszerűbb elméleteket a bonyolultabbak tükrében újra kell írni, de, tekintettel a számos kontextusban megmutatkozó képzeti hatékonyságukra nem szabad elhagyni őket.

A tudományos elméletek valódi megértéséhez a tanulónak nem csupán sokszorosítani és megkülönböztetni kell tudniuk képzeiteiket az összefüggések szempontjából, hanem tudniuk kell azokat metakognitív módon beépíteni az ismeretek hierarchiájának különböző szintjeibe. A tudományos elméleteknek, akár csak a Matryoska-babáknak, magukban kell foglalniuk az egyszerűbb fogalmi rendszereket, de ez nem történhet fordított irányban. Az einsteini mechanika nem vette át a newtoni törvények helyét, csupán átírta azokat. Ugyanígy a párhuzamos megosztott memória kifejlesztése nem cserélte le a régi típusú információfeldolgozás modelljeit. Bizonyos elemzési szinteken még mindig utalhatunk a rövidtávú memóriára vagy a szimbolikus megjelenítésre stb. Hasonlóan a kémia tanítása is a részecskeelmélet (és annak valamennyi atomja, molekulája és kémiai kötése) megértésével nem kötelez arra, hogy feladjuk azon józan ésszel alkotott képzeiteinket, miszerint az anyag makroszkopikus, folyamatos és főleg statikus, hanem, amikor a feladat megköveteli, képesek legyünk moláris képzeiteink finomabb és részletesebb kémiai folyamatok tükrében való újírására. A hierarchikus beépü-

lés eléréséhez a mindennapi tudás egyszerű alany-tárgy fogalmi rendszereit bonyolultabb sémákba, rendszerekbe kell ágyaznunk, melyek a kölcsönhatáson, rendszeregyensúlyon stb. alapulnak. Így aztán a víz párává változása, vagy a tüzelőfa elégetése a részecskék kölcsönhatásának összetett folyamatává válik egy megbomlott egyensúlyú rendszeren belül. Amikor egy „meleg pulóvert” keresünk télire, akkor egy egyszerű alany-tárgy okozati megjelenítést használunk, ahelyett, hogy a hőt a hőegyensúlyi állapot eléréseért zajló energiaátadási folyamat kérdéseként fognánk fel. Ahogy átírhatnánk: valóban egy „meleg” pulóvert próbálunk venni, pedig inkább olyasvalamit kellene keresnünk, ami csökkenti az energiaátadást.

Mindemellett a természettudományok tanulása nemcsak az elemzésköznapi és tudományos szintje közti, hanem e két tág ismeretelméleti szinten belüli különbségtételt is jelenti. Az alternatív köznapi és a tudományos elméletek valósággal versengnek a különböző kontextusokban való alkalmazásukért. A diákokra hárul a bonyolult feladat, hogy ne pusztán megértsek őket, hanem különbséget tudjanak köztük tenni és ennek megfelelően beépíteni őket. A természettudományokat – mint a biológia, kémia, mechanika, termodinamika stb. – a diákoknak különálló rendszerekként mutatják be, anélkül, hogy ellátnák őket azokkal a fogalmi forrásokkal, melyek segítségével összhangba tudnák hozni őket. *Perkins* és *Salomon* megállapítása szerint a kontextuális megkülönböztetés az elméleti beépítés nélkül nagyon kezdetleges módja a természettudományok tanulásának. A megfelelő megközelítés a metakognitív kifejtésen keresztül történő hierarchikus beépítés lenne, mivel ez az új problémákkal való szembenézés érdekében megkönnyíti az elméletek egyik kontextusból a másikba való átültetését. Végeredményben mind a természettudományok történetében, mind azok tanulásában bekövetkezett fogalmi változás az elméletek magyarázatainak összefogottabbá és következetesebbé válásához vezet. Bár néhány józan ésszel alkotott elmélet következetes marad számos összefüggésben, legalábbis ami a kémiát illeti, a következtetés tovább nő a tudományos modelleknél, melyek jobban kifejtettek és megfelelő utat mutatnak a természet megértéséhez összefogott magyarázatokon, nem pedig kontextuális valószínűsűségeken keresztül.

A természettudományi tanrendek felfogásának módjai és hierarchikus beépülésük

Az előző oldalakon próbáltam megmutatni, hogy a természettudományok tanulása nagyon eltérő feladat lehet, attól függően, hogyan fogjuk fel a diákok elméletei és a tudományos elméletek közti kapcsolatot. Miután számos más elgondolást elemeztem ezzel a kapcsolattal összefüggésben, végül a hierarchikus beépülés hipotézisét javasoltam, melynek értelmében a fogalmi változás a fogalmi újraszerkesztés, a haladó elméleti kifejtés és a hierarchikus beépülés összetett folyamatát jelenti. Mi több, ez a hipotézis részben összeegyeztethető a másik hárommal, megengedvén, hogy a fogalmi változás még jobban variálható felfogása után kutassunk. Amint azt a természettudományok tanulásával kapcsolatban megfigyelhettük, a fogalmi változás újraformálása nem feltétlenül jelenti a korábbi modellek elhanyagolását. Csupán tágabb fogalmakba kell beépítünk őket. A természettudományok tanulásával kapcsolatos különböző megközelítések együttélése voltaképpen már jelen van a természettudományi tanrendekben. Ha figyelembe vesszük, hány ilyen tanrendet készítenek és értékelnek, akkor nem méltánytalan feltételezni, hogy a tanárok többsége rejtetten az összeegyeztethetőség hipotézisével dolgozik, minél több ismeretanyaggal próbálván ellátni a tanulókat. Más részről viszont a kutatók és tanrendkészítők többsége újabbban az összeegyeztethetlenségi hipotézissel rokonszenvezik, a mindig kitérő fogalmi váltást kísérve el. Végül maguk a tanulók, legalábbis az ügyesebbje és sikeresebbje, az együttélési hipotézis odaadó hívei; ők figyelmesen szétválogatják az ismeret különböző fajtáit kontextusok szerint, különösen ha vizsgákról van szó. Ahogy egy fiatal tanuló elmagyarázza: „Ha a kémiateremben vagyunk, egész biztosan azt akarják, hogy atomokról és molekulákról beszéljek.” És azokról beszélt. Szükségesnek tűnik, hogy az oktatásban valamennyi érintett (tanár, diák, kutató vagy tanrendkészítő) ugyanarról a tanrendről beszéljen, bár természetesen felfogásuk különböző módjait és ezek beépülését kellene szem előtt tartani.

Jegyzet

- (1) GOPNIK, A.–WELLMAN, H. M.: *The theory theory. = Mapping the mind.* Szerk.: HIRSCHFELD, L.–GELMAN, S. Ma.: Cambridge University Press, Cambridge 1994.; KARMILOFF-SMITH, A.: *Beyond modularity.* Mass.: Cambridge University Press, Cambridge 1992.
- (2) NERSESSIAN, N.: *How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. = Cognitive models of science. Minnesota Studies in the Philosophy of Science.* Szerk.: GIERE, R. University of Minnesota Press, Minneapolis 1992.; THAGARD, P. R.: *Conceptual revolutions.* N. J.: Princeton University Press, Princeton 1992. *Implicit and explicit knowledge: an educational approach.* Szerk.: TIROSH, D. N. J.: Ablex, Norwood 1994.
- (3) VOSNIADOU, S.: *Capturing and modelling the process of conceptual change.* Learning and Instruction, 4 (1), 1994a, 45–69. old.
- (4) *Philosophy of science, cognitive psychology and educational practice.* Szerk.: DUCHSL, R. A.–HAMILTON, R. J. State University of New York Press, Albany, New York 1992.
- (5) THAGARD, P. R.: *Conceptual revolutions.* N. J.: Princeton University Press, Princeton 1992. *Implicit and explicit knowledge: an educational approach.* Szerk.: TIROSH, D. N. J.: Ablex, Norwood 1994.; VOSNIADOU, S.: *Capturing and modelling the process of conceptual change.* Learning and Instruction, 4 (1), 1994a, 45–69. old.; VOSNIADOU, S.: *Universal and culture-specific properties of children's mental models of the earth. = Mapping the mind.* Szerk.: HIRSCHFELD L.–GELMAN, S. Ma.: Cambridge University Press, Cambridge 1994b.
- (6) KARMILOFF-SMITH, A.: *Beyond modularity.* Mass.: Cambridge University Press, Cambridge 1992.
- (7) KELLY, G. A.: *The psychology of personal constructs.* Norton, New York 1955.
- (8) INHELDER, B.–PIAGET, J.: *De la logique de l'enfant a la logique de l'adolescent.* P. U. F., Paris 1995.
- (9) *Rules for reasoning.* Szerk.: NISBETT, R. E. N. J. Erlbaum, Hillsdale 1993.
- (10) POZO, J. I.–CARRETERO, M.: *Causal theories and reasoning strategies by experts and novices in Mechanics. = Neopietagietan theories of cognitive development: implications and applications.* Szerk.: DEMETRIOU, A.–SHAYER M.–EFKLIDES, A. Routledge Kegan Paul, London 1992. Továbbá: POZO, J. I.: *Aprendices y maestros (Learners and teachers).* Alianza, Madrid 1996.; POZO, J. I.–GÓMEZ, M. A.–SANZ, A.: *When conceptual change does not mean replacement: different representations for different contexts. Paper presented at the Seminar on Conceptual Change.* University of Jena, Germany 1994.; POZO, J. I.–GÓMEZ, M. A.–SANZ, A.: *The consistency of students' ideas on the nature of matter. Paper presented at First Conference of European Science Education Research Association, Leeds, UK 1995.*; POZO, J. I.–PÉREZ ECHEVERRÍA, M. P.–SANZ, A.–LIMÓN, M.: *Las ideas de los alumnos sobre la ciencia como teorías implícitas (Students' ideas about science as implicit theories)* Infancia y Aprendizaje, 57, 3–22. old.
- (11) GIERE, R. N.: *Explaining science: a cognitive approach.* The University of Chicago Press, Chicago 1988.; *Cognitive models of science. Minnesota Studies in the Philosophy of Science.* Szerk.: GIERE, R. N. University of Minnesota Press, Minneapolis 1992.; *On scientific thinking.* Szerk.: TWENEY, R. D.–DOHERTY, M. E.–MYNATT, C. R. Columbia University Press, New York 1981.
- (12) *Road to excellence.* Szerk.: ERICSSON, K. A. N. J.: Erlbaum, Hillsdale 1996.; GLASER, R.: *Expert knowledge and processes of thinking. = Enhancing thinking skills in the sciences and mathematics.* Szerk.: HALPERN, D. F. N. J.: Erlbaum, Hillsdale 1992.
- (13) GLYNN, S. M.–DUIT, R.: *Learning science in schools.* N. J.: Erlbaum, Hillsdale 1995a.
- (14) RODRIGO, M. J.: *Representaciones y procesos en las teorías implícitas (Representations and processes in implicit theories).* = *Las teorías implícitas una aproximación al conocimiento cotidiano.* Szerk.: RODRIGO, M. J.–RODRÍGUEZ, A.–MARRERO, J. Visor, Madrid 1993.
- (15) VOSNIADOU, S.: *Capturing and modelling the process of conceptual change.* Learning and Instruction, 4 (1), 1994a, 45–69. old.; VOSNIADOU, S.: *Capturing and modelling the process of conceptual change.* Learning and Instruction, 4 (1), 1994a, 45–69. old.; VOSNIADOU, S.: *Universal and culture-specific properties of children's mental models of the earth. = Mapping the mind.* Szerk.: HIRSCHFELD L.–GELMAN, S. Ma.: Cambridge University Press, Cambridge 1994b.
- (16) INHELDER, B.–PIAGET, J.: *De la logique de l'enfant a la logique de l'adolescent.* P. U. F., Paris 1995.
- (17) GÓMEZ, M. A.–POZO, J. I.–SANZ, A.: *Students' ideas on conservation of matter: effects of expertise and context variables.* Science Education, 79(1), 1995, 77–93. old.
- (18) POSNER, F. J.–STRIKE, K. A.–HEWSON, P. W.–GERTZOG, W. A.: *Acommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change.* Science Education, 66(2), 1982, 211–227. old.
- (19) KUHN, D.–AMSEL, E.–O'LOUGHLIN, M.: *The development of scientific thinking.* Academic Press, Londres 1988.
- (20) SCHRAW, G.–MOSHMAN, D.: *Metacognitive theories.* Educational Psychology Review, 7 (4), 1995, 351–371. old.
- (21) GLYNN, S. M.–DUIT, R.: *Learning science meaningfully: constructing conceptual models. = Learning science in schools.* Szerk.: GLYNN, S. M.–DUIT, R. N. J.: Erlbaum, Hillsdale 1995b.
- (22) SPADA, H.: *Conceptual change or multiple representations.* Learning and Instruction, 4 (1), 1994, 113–116. old.
- (23) DUIT, R.: *Conceptual change. Approaches in science education. Paper presented at the Seminar on Conceptual Change.* University of Jena, Germany 1994.
- (24) ENGEL CLOUGH, E.–DRIVER, R.: *A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts.* Science Education, 70(4), 1986, 473–496. old.; WATSON, J. R.–PRIETO, T.–DIL-LON, J. S.: *Consistency of students' explanations about combustion.* Science Education, 81 (4), 425–444. old.