

# Analogia fisikarien sormenean

ALAIN ULAZIA MANTEROLA

ILCLI (UPV/EHU)

## (Analogy in creativity of physicists)

### Abstract

*General topics on analogical reasoning are described in this text, in which the creativity of physicist will be studied by means of different examples. In the first part, some philosophical views will be exposed and briefly discussed about the centrality of analogy in scientific creativity. In a historical view, the second part, will describe the classical approach towards analogy realized by cognitive scientists in order to compare this generally accepted background with recent contributions to the issue. Here I will emphasize the importance of spontaneous and generative analogies in comparison with constructed analogical sources. In the light of the possibility of the mentioned spontaneity, I will finally show some creative historical cases of famous physicists focusing on certain properties and roles of analogy: generalization, catachresis and internal structure of analogical reasoning.*

**Keywords:** *analogy, creativity in physics, history of physics, cognition.*

### 1. Ezagutza berria eta analogiaren aurkariak

Metafora nahiz analogia, definizioz, bi eiteren arteko antzekotasuna adierazten denean burutu ohi den gogo-prozesuaz ari dira. Lehenbiziko terminoa literaturan usu erabili ohi da, eta bigarrenkoa biologia edo gramatika bezalako zientzietan. Halatan, bi eiteren arteko antza adieraztean (iturria eta itua), antzekotasuna nolakoa den, bata edo bestea erabiliko dut.

Analogia antzekotasuna estrukturala eta doia denean erabiliko da, azterbide zientifikoari lotuagoa denean. Beraz, fisikaren kasuan, zilegi bekit analogiaz hitz egitea, esperientziak eta zehaztasun matematikoak konexio metaforikoen gain ezartzen duten mugapena zorrotzagoa eta estuagoa den heinean. Blackek (1993, 30 or.) bere elkarrekintza metafora deskribatzean zera esan zuen: «metafora oro hondoratutako eredu baten punta da». Nolabait esatea-

rren, metafora punta bada, analogia hondorago legokeena litzateke, eredu horren estruktura errebelatzeko lain sakonduta. Hor analogia bigunak eta gorrak leudeke, eta barnerago, sakonean, atzean estruktura matematiko parekideak dituzten teoriak.

Baina kontuz: metafora ororen azpian ez da beti analogia aurkitzen. Fisikan adibideak ugari dira, teoria hainbat pilatzen dituzten fenomeno konplexuetan bereziki. Egungo fisika modernoak aztertzen dituen fenomenoetan teoria ezberdinek argitzen dituzten azpi-eredu desberdinez osatutako eredu ahalik koherenteena eratu nahi izaten da. Horko metaforak ez dira inondik ere eraikitzaileak eta estrukturalak, baliabide erretorikoak dira gehienez ere. Ez daukate analogiarik azpian. Lente grabitatorioena da adibide ona: fenomenoaren kausak esplikatzeko ez dago sakoneko analogiarik optikaren eta erlatibitate orokorraren artean.

Definizioa ezarrita, ulermen zientifikoa eta genesi teorikoa da interesekoa hemen niretzat, eztabaida filosofiko zabaletatik abiatuta zientzia kognitiboaren proposamenetara garamatzana. Honen karira, psikologiatik eta filosofiatik bi gogo-prozesu aurkariren partaidetza seinalatu izan da ulermen zientifikoaren muinean, esperientziaren eta mundu mentalaren arteko kopiloan. Jean Piagetek «asimilazio» eta «egokitzapen» deitzen die bi prozesuoi. Asimilatzean, balizko gure sistema intelektual behar beste egonkorren pean kognitiboki barneratzen ditugu inguruneak gudan sortzen dituen zenbait eragin. Egokitzapenean aldiz, geldoago baina aurrekoan bezain sistematikoki, eskema mentalak eurak dira eraldatzen direnak ingurunearen eskakizunen arabera. Inork ikastearen ala egokitzaren artean desberdinduz aurkeztu izan ditu bi alderdiok, paradoxa moduan auzipean ipiniz. Izan ere, bi muturren artean oinarritzko galdera epistemologiko bat agertzen da: *Nola da posible ezagutza berria eskuratzea?*

Tresna intelektual bat kontzeptu eta eskema multzo batez eratu bada, zeintzuk pentsatzeko medioak diren, orduan batek kontzeptuon arabera adieraz daitekeena soilik ikas lezake. Eta bestalde, baldin eta kontzeptuon laguntzarik gabe ezagutza berria eskuratzea eta behatzea posible bada, orduan ezagutza hori ezin izango da berez kontzeptuala izan edo pentsamendu birtartez adierazi, eta ondorioz ez da kognitiboki egituratua egongo, ezta beste ezagutza batekin batera integratua ere. Horrenbestez, intelektualki eskuratzina izango da.

Paradoxa hau, era batera edo bestera, gure artean egon da gutxienez Sokratesek *Meno* obran «bilduaz ikasi» soluzioa eman zuenetik, eta ia epistemologo orok tratatu du gaia. Izan ere, ezinbestean, gure esperientzia egituratze-kotan, terminoak, kategoriak edo kontzeptuak behar ditugulako azaleratzen da paradoxa hau. Orduan, alabaina, segituan agertzen da galdera: nola pentsa ditzakegu gauza berriak? Eta bereziki galdera hau: nola dira posible gure esperientziak aztertze bide berriak? Adimen artifizialean eta psikologia

esperimentalean, oro har eta tradizionalki, kontzeptu berriak zaharren arabera kontsideratzean bilatu izan da soluzioa, hots, kontzeptu eskurapenaren ikuspegi definizionalean. Mespretxuz edo, «familiarreranzko edo murrizpen ohiko» deitu izan diote batzuk honi. Halaz, ikuspegi hau, beste aunitzek esan bezala, ez da nahikoa arazoa konpontzeko. Alde batetik, definizioak logikoki baztergarriak direnez, ikuspegi honek ez ditu kontzeptu berriak eskaintzen, soilik badaudenen konbinaziozko irtenbide bat ematen du-eta. Bestetik, historian zehar maiz deseroso nabarmendu ahal izan denez, salbuespen bakarren batzuekin, irizpide definiziorik ez dago eskuragarri kontzeptu naturalentzat, emandakotzat hartzen baitira.

Horrela bada, analogia pentsamendu zientifikoaren bihotzean dagoela tesi nagusitzat har daitekeen arren, kontuz azertu beharrekoak dira hauek sormen prozesuan duten funtzioa eta sare teorikoan agertzen duten posizioa eta jokamoldea. Programa teorikoaren izaera genetikoaren baitan ikus liteke eboluzioa. Adibidez, amaraun teorikoaren zentroan egon daiteke hasieratik irudi metaforiko bat analogia bat eratzera iritsi gabe; aldiz, beste batek apurka sarearen periferiatik sartu eta zentro heuristikoko garrantzitsu bat osa dezake denboraz. Kasuistika anitza da Lakatosek bere ikerketa programen metodologian azaldu zuen gisan.

Analogia sormen prozesu zientifikoaren ardatz da maiz, eta makina bat dira etsenplu ezagunak. Aurkikuntza zientifikoan episodio historikoak idatzi dituzte adibidez analogia bihurtzera ailegatu diren irudi metaforikoek: hara hor Rutherforden atomoarentzako eguzki-sistemaren analogia, edota Faradayren barauts magnetizatuzko lerroen erabilera eremu elektrikoez hausnartzeko. Irakaskuntzan ere makina bat aldiz erabili ditugu metaforak: elektrizitatea sarri goitik beherako potentzialaz darion ur korrontetzat eta zirkuitua berau daraman hoditeriatzat hartzen da, non ura erresistentzia txikidun guneetan errazago eta biziago pasatzen den erresistentzia handikoetan baino; edo, indar eremu desberdinengatik partikula batek metatzen duen energia potentziala bailara batean dringili-drangulu dabilen pilota batek irudikatu ohi du eskolako arbelean.

Erabilera aunitz izanda ere, pentsamendu analogikoa ez digute sekula formalki irakatsi. Izatez, sen onean eta giza gogamenaren berezkotasunean ohikotzat eta ekidinezintzat dakusagu honen erabilera. Adibidez, William James psikologoak uste zuen ezen jendeak analogia bidez karaktere abstraktuez baino askoz lehenago arrazoitzen zuela (James 1890, vol. II, 363 or.); hau da, pentsaera primitibotzat zuen.

Euskaraz ere sen onaren normaltasunean kokatzen da analogia: *antze-man* aditza, «igarri» edo «asmatu»ren sinonimoa da. Arazo bati antz ematea edozein problema ebazpenetan gakoa den ideia otutzea da. Eta aditz honen etimologiak, interesgarriki, erabat bat egiten du analogiaren muinarekin, antzekotasunarekin. Baina euskaraz pentsamendu maila abstraktua onartzen

diogu; ez genituzke baztertuko halako esaldiak problema matematiko abstraktu batekin ezinean gabiltzanean: «ezin dut ezer antzeman buruketa honetan», «Antzik eman al diozu Rubicken kuboari?». Honenbestez, galdera hau ernetzen da: pentsamendu analogikoa sormen prozesu abstraktuenetan agertzeko kapaz da, ala ez?

Jamesen iritzikoek diotenez, pentsamendu analogikorako gaitasuna giza adimenari berezkoa zaio, eta inferentziaz erabilgarria den analogia unibertsala eta pentsamendu abstraktu zientifikotik kanpokoa da, ez duelako metodo zientifikoak behar duen zorrotzasunik. Erratua deritzot, alabaina, hasiera bateko intuizio honi eta auzitan ipini nahi izango dut kontrakoa erakusteko. Pentsamendu zientifikoaren historian arrazonamendu analogikoaren etsenplu ilustragarri ugari topa daitezke; adibidez, mekanika kuantikoaren sorrera pagotxa da halako kasuen ugaritasunari eta aniztasunari dagokionean. Gero motzean aurkeztuko ditudan adibideek pentsamendu analogikoarekiko innatismo eta sinplekeria hau baztertu egingo dute. Jamesen aipuaren aurka, erakutsi nahi izango dut sarritan fisika matematiko konplexuenaren karaktere abstraktuak ez zirela soilik analogiapean sortuak izan, are gehiago, oraindik ere fisikariek maiz pentsamendu analogikoan ainguratu beharra daukatela hauek ebaluatzeko eta berrulertu ahal izateko (baita euren artean komunikatu ahal izateko, eta hortik berriak sortzeko ere). Pentsamendu abstraktuenak ere ezin du analogiaren heldulekua baztertu.

Kasu azterketa hauetan ikusiko da diferentzia inportanteak daudela munduari buruzko inferentziak bermatzeko atzematen diren antzekotasun motetan. Finean, Degre Gentnerrek eta Michael Jeziorskik (1993) dioten gisan, aldaketa historiko esanguratsuak jazo zirela dirudi analogiaren eta metaforaren erabilera zientifikoari dagokionean. Hauen azterketa historikoak kontuan hartzen ez badu ere, mekanika kuantikoaren sorrera, esaterako, proposaturiko garapen historiko hori defendatzera dator, garapen horren gailurtzat jo daitekeen fisika matematiko abstraktuenaren altzoan gainera. Haatik, konplexutasun honen sen onarekiko eta jaiotzetiko balizko ahalmen batekiko urruntasunak ez du fisikari haien sormen prozesua metaforaren eta analogiaren erabileraren historiati at lagatzen; kontrakoa, ildo historiko horretan bete-betean barneratzen du.

Honela, metafora eta analogiaren garrantzia azpimarratzen duen tesi nagusiaren argipean jarraibide historiko bat nabarmendu ohi da. Sormen zientifikoaren jarraibide historikoak joera hau erakusten du metaforaren edo analogiaren erabilerari dagokionez: metaforatik analogiara, hots, antzekotasun metaforiko mota anitzetatik egungo analogia estruktural moderno zorrotz, zurrun eta doiagora, eta zenbaitetan honen formalizazio matematikora. Lakatosen metodologian, adibiderako, heuristika positiboaren barneko teknika matematikoen eta sormen-jarraibideen garapen eta finketa gisa agertu zen jarraibide hau. Era batera edo bestera, askok aipatu dute analogiaren fintze hau.

G.E.R. Lloydek (1966) ere bide hau hartu zuen. *Polarity and Analogy* liburuan antzinako pentsamendu greziarraren baitako bi argumentu mota nagusiok aztertu zituen; bere esanetan pentsamendu aitzin zientifikoa mamitzen ari zen aro garrantzitsu hartan. Argumentu analogikoei dagokion azken ondorioetan garbi azaltzen du metafora figuratibotik analogiaren logika zainduago baterako eboluzioa, eta hauen garrantzia antzinateko greziarren ikerbiderako (419 or.):

Filosofia greziarra garatu ahala, kosmosa osotasuntzat zuten kontzepzioak adierazteko eta fenomeno natural ilunen azalpenak iradokitzeo analogien erabileran zeuden problemetako batzuk: irudi kosmologikoen estatusaren ideia argiagoa lortu zen, eta analogia inferentzia gisa analizatu zen esplizituki. Baina logikaren eta analogiaren ezagutzan egin ziren aurrekapenak erabakigarriak eta nabariak ziren bitartean, praktikan honek ez zuen ekarri analogiaren erabilera bat bera ere abandonatzea, soilik analogien aplikazio apur bat arduratsua ekarri zuen idazle jakin batzuen partetik. Argumentu analogiko esplizituak denbora luzean zehar erabili ziren onenean ere limurtzaileak zirela nabarmendu zen geroztik. Platonek azalpen figuratiboak frogapenen aldean behe-mailakoak zirela onartu bazuen ere, berak eta beste hainbatek kontzepzio kosmologikoak erruz erabiltzen segi zuten. Azkenik, Aristoteles zenbait aspektutan bere aurrekariak baino kritikagoa zen arren, zientzia naturaletan duen erabileraz analogiak gai askotan fenomeno ilunak argitzeko metodo arraz inportantetzat, ia ezinbestekotzat, luzez eutsi zion bereari laugarren mendeaz geroztik.<sup>1</sup>

Gentnerrek eta Jeziorskik aukeratutako adibideek ere gisa honetako eboluzioa erakusten dute. Antzina, Berkeley, Aristoteles eta beste hainbat ez ziren batere metaforazaleak eta mintzaira ez-literala poesiarako uztearen aldekoak ziren. Hauen aurka, alkimistek metafora eta analogiara jo zuten buru-belarri, maiz gehiegikeriaz. Batek zioen bezala, euren analogien jabe izan beharrean, euren sortutako analogiek menpean zeuzkaten. Bestalde, aro modernoagoetan, Faradayren eta Rutherforden kasuetan ikus daitekeenez, antzekotasun metaforikoa balekoa da baina arrazonamendu zientifikopean mu-

---

<sup>1</sup> As Greek philosophy developed, some of the problems involved in the use of analogies to express conceptions of the cosmos as a whole and to suggest accounts of obscure natural phenomena: a clearer idea of the status of cosmological images was achieved, and analogy was explicitly analysed as a mode of inference. But while the advances in the knowledge of the logic of analogy are clearcut and decisive, in practice these did not lead to the abandonment of any particular use of analogy, only to a slightly more cautious application of analogies on the part of certain specific writers. Explicit analogical arguments continue to be both used and misused long after it was first pointed out that they are at best persuasive. While Plato acknowledged that figurative accounts are inferior to demonstrations, he and many others continued extensively in expressing cosmological conceptions. Finally, while Aristotle is, in certain respects, more critical in his use of analogies in natural science than most of his predecessors, analogy remained an extremely important, indeed an indispensable, method of elucidating obscure phenomena in many fields of inquiry long after the fourth century. (Lloyd 1966, 419 or.)

gapen zurrinak ezarri behar zaizkio. Alkimisten<sup>2</sup> antzekotasun pluralistak eta mekanika kuantiko modernoko analogia estruktural matematikoak zientzialarien prozesu kognitiboen eboluzio historikoaren bi muturretan koka litezke beraz.

Jardun zientifikoaren eboluzio kognitibo honen ikuspegi orokorregi hau zehazte aldera, iraultza zientifiko moderno baten historia ttipiago baina definituagoan ere jarraibide bera atzeman daitekeela dirudi. Analogien bitxitegi izateaz gain, mekanika kuantikoaren sorrerako ahalegin teorikoek jarraibide hau erakusten dute: metafora filosofikoari bide ematen zion eztabaida teoriko interpretaziozkoago eta estetikoago batetik datu enpirikoekiko mugapenean hertsitako garapen matematiko doiagora. Hasieran, Kopenhageko interpretazioaren aldeko eta kontrakoen arteko eztabaidek izan zuten oihartzun gehien, edota Heisenberg eta Schrödingerren arteko liskar estetikoek, finean erabat baliokideak ziren matrize-mekanika eta uhin-mekanika defendatuz, hurrenez hurren; geroago, kontsiderazio filosofikoek eta estetikoek garrantzia galdu zuten esperimientuekiko doitasunak eta matematikaren hertsitasunak aginduta. Egun, bost baino gehiago dira «mekanika kuantikoaren interpretazioak». Noski, interpretazio hauen guztien atzean mekanika kuantikoa *familiar, etxeko*, egiteko ahalegin bat dago dagokion fisikari taldearen partetik. Baina alderdi experimentalaren abiadura hain da handia ezen darabiltzaten interpretazio-metaforek ez baitzuten behar besteko irismenik. Horregatik ugaltzen dira interpretazioak.

Baina «familiarreranzko murrizpen» etiketak analogiaren estatus epistemologikoari balio handia kentzen dio. James pragmatistaren aipuaz gain makina bat izan dira zientziaren filosofian analogiaren zerizana bazter laga nahi izan dutenak. Analogiaren aurkako Nagel eta Hempelen argumentuak ospe-tsua dira.

Nagelek (1961, 110 or.), analogia gogorra eta biguna banandu nahi dituen ildoan, beste izendapen batekin analogia formala eta substantiboa bereizten ditu:

- Lehenengo analogia substantiboetan propietate ezagunak dituzten elementu sistemak bigarren sistema bati buruzko teoria eraikitzeko erduztat hartzen dira.

---

<sup>2</sup> Alkimiarekin lotu izan da, hain zuzen, Jungengandik hain intentsuki Paulirengana iritsi zen *arketipoaren* kontzeptu «sasi-zientifikoa». Hemen, nolabait axiomatizazioaren aurrekariak liritekeen ezagutza zatiak, genetikoki nahiz haurtzaroko hezkuntza aldian barneratuak, auskalo, *sistema konplexuen* (non sistemek dinamika ez-linela jarraitzen duen) azterbidean «inbariante» sakon bat eskaintzen duela diotenak badira; halatan, lehen aipaturiko prozesu historikoan mugalde-baldintzekiko independenteki jada hor dauden «auto-antolakuntzak» izan litezke, sakon-sakonean, sormen prozesu konplexuaren jatorrizko deskribatzaileak. Hor leudeke Lakatosen ikerketa-programen nukleo zentrala eratzen duten axiomak, maiz aingura analogiko erara presentatuko direnak. Axiomatizazioaren kogniziorako ikuspegi interesantea izan daiteke dinamika ez-linealarena.

—Bigarrengoentzat, analogia formaletan, erlazio abstraktu ezagun batzuk eratzten dute estruktura ezaguna, eta ez ikus daitezkeen elementu batzuek eta hauen arteko erlazioek.

Nagelek argi/soinu analogia jartzen du substantzialaren adibidetzat. Formalak, aldiz, teoria konplexuagoetan gertatzen diren antzekotasun estrukturaletan daudenak dira (isomorfismoak), erlatibitate teorian nahiz kuantikoan, non errealitate fisikoaren patroiak mekanika klasikoko ekuazio inportanteekiko analogiapean sartzen diren. Argi dago kasu honetan *eredu* nozioa zorroztasun handiagoz edo txikiagoz uler daitekeela. Edo lege nahiko zehatzak dauzka, edo zenbait legeren existentzia *iradoki* lezake. Azken kasu honetan, «eredua» eta «metafora» bereiztezin bihurtzen dira.

Ereduaren definizio minimalista onartzen da horrela: gure buruan dagoen egitura batek egon behar du naturako fenomeno bati lotua, hau ulertzeko burmuinean nolabaiteko oinarri fisiko bat izan behar duena, nahiz eta oraindik ez dakigun ezer askorik horretaz. Beraz, galdera hau da: zelakoak dira zientzialariarengan sormen prozesuan zehar parte hartzen duten ereduak?

Honi erantzunez, Nagelek (1961, 114 or.) iturri familiar batekiko analogia kontsideratu zuen zientzialarien jardun psikologikoarentzat: «teoria zahar eta berri baten arteko analogia ez da sinpleki azkenari zukua ateratzeko laguntza bat, baizik eta hainbat zientzialarik lortu nahi duten nahikunde bat». Alta, analogia hau kontu handiz tratatu beharrekoa zela nabarmendu zuen, izan ere, «eredu [familiar] bat tranpa intelektual bat izan daiteke». Halaber, Hemplek (1965, 434 or.) analogia «familiarreranzko murrizpen» gisa zekusan, eta hau teoria berriak asmatzeko eragozpenentzat zuen.

Ikuspegi lausoak dirudite hauek. Lehenik, mekanika newtondarra ez-familiarra gogoan hartzeak sortu zuela oroitarazi behar da, hots, ilargiaz gaindiko eremu zerutiarra hartu zuen iturri analogikotzat familiarra dena azaltzeko, alegia, ilargipeko ohiko fisika deskribatzeko; beraz, ez da egokia analogia ohikorantz eginiko murriztapentzat hartzea. Iturri analogikoaren zentzua ez da aldebakarrekoa. Bigarrenik, eredu zientifiko bat izateaz gain, analogia domeinu berrietara hedaturiko *irudizko pentsamen edo esperimentu* bat ere badaiteke izan.

Adibidez, Einsteinek efektu fotoelektrikoan erakutsi zuen uhin gisa pentsatua izan zena partikula bat ere izan zitekeela; horrenbestez, De Broglie-entzat zentzuzkoa izan zen kontrabidean inferentzia analogoa marraztea partikula gisa pentsatua dena uhintzat ere har zedin, «materia-uhinen» existentzia ezartzeraino. Agidanez, inferentzia analogiko mota hau edozeinen eskura dago, fisikaz ezer asko jakin gabe ere. Beste kontu bat da ideioek matematikoki formalizatzea.

Analogiaren ahuldadea nabarmentzen duen beste argumentu landuago bat badago, berriz ere Hempeli (439 or.) zor zaiona. Demagun domeinu eza-gun bati dagokion *L1* lege multzo bat dugula, eta estrukturaliki isomorfoa edo analogoa den *L2* lege multzoa, domeinu berri bati dagokiona. Hemen arabera, *L2* zuzenki erabil daiteke fenomeno berriaren esplikaziorako, *L1* multzoarekin duen isomorfismoari inongo erreferentziarik egin gabe. Esplikazio zientifikoaren xede sistematikorako analogiarekiko mendetasuna funsgabea da eta beti bazter dezakegu.

Argumentua erabat tautologikoa da baina. Noski, behin *L1* legeen laguntzaz *L2* legeak topatu eta gero, prozesuaz ahantz daiteke bat eta *L2* *L1*-ekiko independentea dela esan. Erabat zentzugabea da ahanztura neutral usteko hau, gogo prozesuekiko, sormenarekiko independenteki talaia epistemiko bat ezarri nahi duelako, geniaren barnean eta honen xehetasunetan erreparatu gabe. Jar dezagun fisikako adibide esanguratsu bat: Pauliren eskusio-printzipioaren jasokunde nomologikoa kontuan hartzen badugu, ohartuko gara deskubrimendu-justifikazio testuinguruaren ohiko bereizketan ito nahi izan dela analogiaren garrantzia.

Hurrengo orrietan (440-44 or.) Hemelek deskubrimendu testuinguruaren eta handik ateratzeko aukerarik gabe lotuta laga nahi du analogiaren zeregina. Bere arabera, analogia zientziaren eremu «pragmatiko-psikologikoari» dagokio: «Jakina, subjektiboki horrela kontsideraturiko analogia ezin daiteke izan teoria zientifiko objektiboen ezinbesteko zatia». Erretolikan nahasten da berriz Hempel, subjektiboa dena, definizioz, ez baita objektiboa.

Nola askatu izan dute filosofoek korapilo hau? Analogia familiartasunarekin lotzen duen ikuspegi hau onartuz, Panditek (1983) bi familiartasun mota bereizten ditu eta, halatan, gehiago lantzen eta garatzen du Nagelen analogia substantzial/formal bereizketa. Teoria bat familiarra izan daiteke ohiko zentzuan, hots, irudizko ereduaren oinarritua denean; edo familiarra izan daiteke zentzu teknikoan, hots, nagusi den ildo zientifikoaren legeetan oinarritua denean.

Bereizketa honen ideari funtsezkoa deritzot, buelta emanda baldin bada ere, irudimena iturri analogiko teoria-menpekoetan (teknikoki familiarretan) eta ez-menpekoetan (irudizkoetan) nola txertatzen den arabera arrazonomendu analogikoa desberdina baita. Hots, bi gogo-dimentsiotan sailkatu behar litzaiteke argumentu analogiko bat: dimentsio bat irudimena izango da eta bestea teoria-teknika ezaguera. Irudimena (zeinu *ikoniko* gisa) izango da maiz «familiarreranzko murrizpen» etiketa gainditzeko sormen dimentsioa ekarriko duena.

Izatez, fisika klasikoan Panditen bereizketa ez da garrantzizkoa, eredu mekanikoak eta fisika klasikoaren teknikak berariaz baitira irudikagarritasun handikoak. Fisika modernoak, alabaina, garbi erakusten du teoria bat fami-



liarra izan daitekeela zentzu teknikoan, baina inondik inora ere ez irudizko zentzuan. Xelebrea da Steven Weinbergekin (1993, 66 or.), mekanika kuantikoaren zailtasunetan barna, bere ikasle galdu batez dioena bereizketa honen amildegiaz ohartzeko:

Fisikari gehienek egunero darabilte mekanika kuantikoa bere lanean honen interpretazioari buruzko problema fundamentalaz arduratu gabe. Euren espezialitateko datu eta ideia guztiak jarraitzeko nahikoa denbora ez duen jendea izanik, ez dira honetaz arduratzen. Orain dela urte bat edo, Philip Candelas (Texaseko fisika sailekoa) eta ni igogailu baten zain geundela, gure elkarrizketa gradu ikaslea zelarik etorkizun nahiko handikotzat genuen eta bistatik desagertu zen teorialari gazte batengana bideratu zen. Phil galdetu nion zerk oztopatu zuen ikasle ohiaren ikerketa. Philek bere burua tristeki inarrosi eta esan zuen: «mekanika kuantikoa ulertzen ahalegindu zen»<sup>3</sup>.

Teknikoki menperatuak daukazun adierazpen matematikoak ohiko pentsamoldeez ezin irudikatzeak erotu egin dezake bat. Fisika modernoa, bere espazio ez-euklidearraz eta probabilitate uhinez, amildegi horren ertzean dago. Horiek horrela, fisika modernoan eredu bisualen erabilera zaharkitutzat jo izan da. Honek tentsio interesgarri bat sortzen du, irudizko analogiaren eta isomorfismoen zorrotasun estrukturalaren artean, analogia bigun eta gogorren artean. Egin kontu paradoxari: fisika modernoko irakaskuntza liburu hedatuenean irudikagarritasun ezaren tesia errepikatzen dute euren irakaspenak azaltzeko makina bat irudi darabilten arren.

Irudikagarritasunaren eta gogo edo irudi esperimenteren garrantzia aipatu behar litzakeela kontuan izanda (arrazonamendu analogikoari dago-kion zentraltasuna dakarkien heinean), pentsamendu analogikoa bideratzen duten barne-indarrak eta mugapenak *kognitiboki* elkar nola lehiatzen eta orekatzen diren estudiatzen da, ezagutza berrirantz marrazten den prozesuan zientzia kognitibo klasikoak ezartzen dituen azterbideak apur bat deskribatzearen. Egun onartutako teoria klasikoan, mugapenen presiopean moldatutako estrukturalaren goi-ordenako erlazioak estatikoki bereizten dira gorentzat eta gailentzat, baina egun analogia espontaneo generatiboak ere aintzat hartzen dira, tratamendu eraikitzaile baten baitan.

---

<sup>3</sup> Most physicists use quantum mechanics every day in their working lives without needing to worry about the fundamental problem of its interpretation. Being sensible people with very little time to follow up all the ideas and data in their own specialties and not having to worry about this fundamental problem, they do not worry about it. A year or so ago, while Philip Candelas (of the physics department at Texas) and I were waiting for an elevator, our conversation turned to a young theorist who had been quite promising as a graduate student and who had then dropped out of sight. I asked Phil what had interfered with the ex-student's research. Phil shook his head sadly and said, «He tried to understand quantum mechanics.» (Weinberg 1993, 66. or.)

Behin honezkerok, egon diren joerez eta egungoez jabetzeko analogiak sormen zientifikoa duen paperari buruzko historia akademikoari apur bat begiratzea dagokigu. Orain aipatuko ditudan egileek zientzialarien sormenean analogiak duen eginkizuna aztertzeke zutabeak ipini dituzte zientzia kognitibotik. Meritu bikoitza daukate klasikotzat jotzen diren ikerlari hauek: analogiaren azterketarako oinarrietan berezitu diren arren, zientzia kognitiboa zientziaztat onartua izan dadin egindako diziplinarteko lanean parte hartu dute. Zientzia bihurtze horrek funtsezko dogma bat ezartzea dakar, ikerketari ekiteko printzipio ukaezinen multzo bat, adostuak izan direla ahaztu gabe.

## 2. Historia laburra

Hipotesi/teoria sorkuntza zientifikoa dagokion ideien historia aberatsa eta anitza izan da. Muturreko bi joera egon dira aniztasun honen mugaldeen: hipotesi eraketa hainbat behaketa enpirikoren orokorpenaren gain jasoriko formazio induktibo tai gabea da (adibidez, Carnap); edo hipotesiak ez-enpirikoki eratuak dira super-arrazionamendu mota bat edo *Eureka* mekanismo bat medio (adibidez, Polyani).

Eskuan dugun ikerketa honek bitarteko ikuspegi bat garatu nahi du, ez hain muturrekoa eta konplexuagoa. Kontuan hartu behar da azken mendean filosofia klasikoak burutu duen lanak, bereziki Poperrengatik, hipotesi-formazioaren izaeraren auzia baztertu egin duela eraketan baino atentzio gehiago ipiniaz ebaluazioan. Aipatu izan dugun bezala, justifikazio testuinguruak alboratu egin du deskubrimenduaren aspektua. Hala ere, orain, hainbat zientzialari eta filosofok arrazionamendu analogikoaren eginkizuna nabarmendu egin du *Eureka* eta indukzioaren, nahiz justifikazio eta deskubrimenduaren arteko ikerketa-eremuan.

Historikoki, egungo azterketa kognitiboei bide eman dien ezagutzaren ikuspegia *epistemologia pragmatikoa* izan da. xx. mende hasieran aurki daitezke elementu pragmatiko hauek ezagutzaren filosofian, positibismo logikoan, konbentzionalismoan, eta lehen aipaturiko mekanika kuantikoaren Kopenhageko interpretazioan. Filosofia honek zientzia kognitiboko lanak dominatzen ditu orain ere. Epistemologia pragmatikoaren arabera, ezagutza ingurua ahalik eta sinpleen irudikatu behar duten eredu osatua dago. Ez dago eredu erabatekorik, hots, kontraesankor eman dezaketan arren eredu diferenteen existentzia paraleloa onartu behar da. Aukeratu-tako eredu ebatzi beharreko problemaren arabera da horrela. Problema ebazpen ahalik sinpleenak eta iragarpen testagarriak eman beharko dira. Ereduok nondik datozen edo non dauden jakitea ez da garrantzizkoa: azpi-ereduak elkartzuz, datu enpirikoak kale-edo-baleka probatuz, eta jarraibide

heuristiko eta intuitiboak identifikatuz ereduak nola eraikitzen diren aztertzea da xedea.

Ikuspegi pragmatiko honetaz aparte, zientzia kognitiboaren sorrera konputagailuarekiko analogiak piztu zuen arren, paradoxikoki, analogia bera denbora luzez alboratua izan du ikerketa kognitiboak. Analogiaren ikuspegi modernoa eratzen lagundu zuten, hasiera batean, Mary Hessena (1966) gisako lanek, non analogiak zientzian duen papera aztertzen zuen honen deskubrimendurako eta aldaketa kontzeptualerako indarra azpimarratuz. Bi analogia mota desberdintzen zituen Hessek: *analogia formalis eta analogia materialis*. Lehen kasuan, erlazio axiomatiko eta deduktibo berdinek elkarlotzen dituzte antzeko sistemen subjektu eta objektuak. Hemen, erlaziook antzeko ekuazioez dira deskribatuak, gogorra da halaz analogia, zirkuitu elektriko osziladorearekin eta penduluaren ekuazioekin gertatzen den gisan. Aitzitik, analogia materialean sistemen arteko antzekotasun fisikoa dago tartean, mekanika newtondarra obedituz igualtsu jokutzen duten gas molekulen eta billar bolen arteko analogian legez. Funtsezkoa da zentzu honetan Hessen banaketa epistemikoa: analogia teoria-menpekoak dira formalak, eta simulatzailetzat har daitezkeen imajinatutako gailuak dira Hessen analogia materialak.

Hessen lan aitzindaria hor egonik ere, denbora luzez zientziaren sormenean duen zeregina aztertu beharrean analogiari buruzko ikerketa gehienak lau terminoko analogia-problemetara mugatu ziren, inteligentzia testetan erabiltzen diren gisakoetara; adibidez, *sagarra sagardoari badagokio, mahatsa zeri dagokio?*

Test hauek gaindituta, 1980 inguruan inteligentzia artifizialeko eta psikologiako hainbat proiektu ikuspegi zabalagoz janzten hasi ziren. Inteligentzia artifiziala aztertzen zutenak arrazonamenduan eta ikasketan analogia konplexuek zuten bitartekotza aintzat hartu zuten. Ikerlariok esperientziak arrazonamenduan duen zeregina aztertzeari ekin zioten eta arrazonamenduaren, ikasketaren eta oroimenaren arteko erlazioak behatzeari, «case-based» edo *kasu-bidezko arrazonamendua* delakoa bideratuz (Kolodner 1993). Arau-bidezko arrazonamenduaren kontrara, kasu-bidezko arrazonamenduak epe luzeko memorian gorderiko kasuak errekupeatzeari eta egokitzeari ematen zion garrantzia problema berrientzat soluzioak bilatzerakoan.

Psikologian, Gentner (1983) zientziako eredu mentaletan eta analogietan lan egiten hasi zen. Analogiaren gakoak, giltzarri ziren antzekotasunak, domeinuen arteko erlazioetan kokatzen ziren gehiago (adib., hidrodinamika eta elektrizitatea), objektuen detaileetan, ezaugarrietan edo antzekotasun literaletan baino. Bere *estruturamapping teorian* analogiak domeinuen arteko *mapping* estrukturala topatzea suposatzen duela zioen. *Mapping* hau paralelismo estrukturalak (lotutako elementuen arteko korrespondentzia biuni-

bokoak eta konsistenteak) eta sistematikotasunak (lehentasun inplizitu bat ematen zitzaien goi-ordenako erlazioez gobernaturako sistema elkarlotuei) gorpuzten zuten.

Garai honetan, Holyoak eta bere kolaboratzaileek ere ikertu zuten analogiaren zeregina problema-ebazpenean, zeinak pragmatikak analogian duen eginkizun indartsua seinlatu zuen, xedeen eta testuinguruaren eginkizuna nabarmenaraziz analogiaren interpretazioan. Analogiak erlazio kategorialak berriak sor ditzakeela erakutsi zuten, kasu arteko erlazio korrespondentzia eskema batera abstraituz. Ikuspegi induktibo honetan, Holyoak eta Thagardek analogiaren «multiconstraint theory» edo  *mugapen anitzeko teoria* garatu zuten, non antzekotasunak, paralelismo estrukturalak eta faktore pragmatikoei elkar ekiten duten interpretazio bat taxutzeko.

Bide honetan, 1980 ezker, zenbait zientzialari kognitiboren esfortzuak analogiari buruzko hainbat puntu adostea ekarri du. Honen arabera, pentsamendu analogikoaren prozesua zenbait azpi-prozesutan bana daiteke. Hau litzateke adostasun zabala duen eskema:

- Arrazonamendu normal batean, epe-luzeko oroimen batean gorderiko kasu analogo gailen bat edo gehiago *atzitu* behar dira lehenengo.
- Ondoren, analogia ezagun bat (iturria) itura proiektatu behar da, alegia, *mapping* bat egin behar da, elkarrekiko korrespondentzia sistematikoak identifikatzeko.
- *Mapping* honek *inferentzia* analogikoak egitea ahalbidetzen du ituz, ulermenean hutsuneak betetzeko ezagutza berriak sortuz.
- Honen ondoren, inferentziok *ebalatu* eta *egokitu* egin behar dira ituaeren beharrianak konplitzeko. Azkenik, *ikasi* egin dezakegu kategorialak, eskema eta ulerpen berriak sortu izanagatik.

Horrela bada, orain gutxira arte arrazonamendu analogikoaren inguruko estudioak kasu analogoa oroimen iraunkorrean *asoziazioz atzitzeagatik* nabarmendu dira. Hala, iturri analogikoak familiarrak, ezagunak, dira eta erre-kuperaturiko kasu analogoak berriak ez du garapenik behar. Finean, erlazio analogikoaren ebalazioa erlazio estrukturalen *mapping* zuzenaz gauzatua da, ordena altuko erlazioak kontuan hartuta, erlazioen arteko erlazioez alegia. Laburrean: inferentzia analogikoan lehenetsitako baldintzapena subjektuari aurkezturiko analogia estatikoetan oinarritzen da, espontaneo eta transformagarrietan bainoago.

Horiek horrela izanda ere, oraintsu J.J. Clement (2008) irakasleak prozesu gehigarriak identifikatu ditu adituen inferentzia analogikoetan. Jatorrizko analogia espontaneoak transformatuak izan daitezke eta iturri analogikoaren eraikitza bat gauza daiteke ituaeren eraldaketa bat medio. Horrela, asmatu-riko iturri analogikoen eraiketa zaindua ohikoa da pentsamendu sortzailean. Are gehiago, sarritan badaude iturri analogikoaren ulerpena hobetzeko bes-

telako ahaleginak, adibidez bigarren hedapen analogia baten bidez eginda-koak, zeina, aurrenekoa bezalaxe, eraiki egin behar den.

Halaz, Clementena gisako berme generatibo horren baitan, iturri analogikoa premisa mailara jaso daiteke. Axiomatizazioaren aurrekari diren eza-gutza zati hauek izen desberdinak jaso izan dituzte, «abdukzioa» esaterako (Peirce 1931). Peirce beraren metodologia zientifikoan *abdukzioa*, hipotesi-eraikuntza, aieruak, dira lehen etapa. Gero etorriko da *dedukzioa* hipotesi hauetatik egina, eta azkenik, deduzitutakoa esperimentera testatzean baieztatzen diren kasu partikularrek *indukzioz* orokorpen zenbait zehaztuko dituzte.

Lehen etapa sortzaile horretan, abdukzioan, antzekotasun nahikoa jarri zuen oinarritzat Peircek aieruak egiteko, zeina ezin den errazki analizatu propietate multzo hutsen arabera. Kognizioaren ikertzaileek goi-mailako erlazioetan jarri duten jauzia legoke hor eta aieru bakoitzak bere barne-diseinuan duen berezitasuna. Hala ere, falibilista izan arren, Peirce ez zen inoiz epistemologikoki ezkorra izan; halaxe zioen bere lehen arrazoimen printzipioak: «Ez blokeatu ikerketa bidea!»<sup>4</sup>. Hipotesi-eraikuntzari eta irudimenerari bidea irekitzen dion jarrera da hau. Jarrera hau gehixeago findu du Clementek (2008, 328 or.); hiru ezaugarri nabarmendu ditu abdukzio bat garatzen ari den subjektuarengan: subjektuaren arrazonamenduan ziurtasun falta bat dago; analogiaz aktibaturiko eskemetan izan dezakete euren jatorria ereduaren elementuek; eta ez dago arrazonamendu silogistikorik subjektuaren esaldietan. Beraz, *abdukzio generatiboan* badira behatutako fenomenoarekin batera elkar ekiten duten aitzin ezagutza-eskemak eredu hipotetikoa eraikitzeko analogiaz aktibatuta. *Indukzioan*, aldiz, hainbat fenomeno dira behatzen ditugunak eta horien gain behaketa-patroi bat antzematen dugu.

Hauez gain, badaude metaforaren hautematean hurbilpen klasikoe-tatik haratago jauzi bat egin duten beste teoria modernoak, Lakoffena (1993) eta Lakoff & Nuñezena (2000) kasu. Hurbilpen klasikoarekin bate-ragarria izan arren, aipatu beharrekoa da metaforaren teoria honek ontolo-gikoki dakarren ekarpen gehigarria. Lakoffentzat *mapping* analogikoa ez da adierazpen berritzaile soil bat, gure sistema kontzeptualaren parte bat bai-zik. Metafora domeinu-artekeko *mapping* bat da sistema kontzeptualean. Ho-rrela, sistema fisiko bati buruzko ideia abstraktu bat esperientzia eta irudi konkretuetan oinarrituta dago gure egitura kognitiboan. Ikuspegi hau ma-tematikara ere badarama Lakoffek *geruza metaforen* ideia medio. Laburki esanda, metaforak beste metafora batzuen gainean eraiki daitezke; mai-laketa honek azalduko luke jendeak ideia matematiko hagitz abstraktuak nola uler ditzakeen.

---

<sup>4</sup> «Do not block the path of inquiry!»

Gentnerren eta enparauen ikuspegian, bestalde, hurbilpen enpirikoa-go hartzen da egiaztapen esperimentalaz teoria formal bat osatzeko. Hauek mekanismo kognitiboaz ez dute galdetzen berariaz, analogiaren eredu abstraktu egiaztagarriak eraikitzen dituzte (Holyoak eta Thagard 1997, Brophy eta Schwartz 1998, Paatz et al. 2004). Bateragarriak dira bi ikuspegiak, esan bezala, eta bietan ondorio nagusia berbera da pedagogikoki eta heuristikoki: fisikan kontzeptu berriak ikasteko giltzarria da analogia *aurretiko eza gutzak* iturri gisa diharduelako.

### 3. Kasu ilustragarriak

Zer dauka fisika beste zientziek ez daukatena sormen analogikoari dagokionean? Fisika beti ikusi izan da matematikatik gertuen dagoen zientzia gisa. Mac Lane matematikariaren eta Lakoffen proposamenaren («Gorputz-tako Matematika») ondorioak garrantzizkotzat ditut hemen: matematika oro da fisika, gure gorputzak ingurune fisikoarekin duen elkarrekintzatik datoze-lako matematika eraikitzen duten metaforak eta irudi eskemak. Matematikari aitortu ohi zaion idealtasuna eta transzendentzia umiltzera dator ikuspegi hau. Fisikan bezain berezkoa da analogia matematikan eta iturri analogiko berdintsuekin. Fisika-matematikoan sakontzeak eta bertako sare teorikoak zorrozki marrazteak beste zientzietarako eredu multzo anitzak eta ahaltsuak eskaintzen ditu.

Fisika eta matematikaren uztarketa ekidinezin honen baitan, ikus di-tzagun arestiko hausnarketa orokorrak ilustratzeko kasu esanguratsu bat-zuk. Helburua pentsamendu analogikoaren abstrakziorako ahalmena garbi uztea da. Jamesena bezalako kritika innatistaren eta zenbait filosofok egozten dioten «familiareranzko murrizpen» txiroaren aurrean analogiak fisikarien sormenean agertzen duen aberastasuna aurkeztuko dut. Iturri analogikoaren izaera espontaneo eta generatiboa da aberastasun honen muina. Fisikaren historiaren baitako adibideez lagunduta garrantzitsu-tzat dauzkadan analogiari eta honek erretako arrazonamenduari lotutako ezaugarri eta zeregin kognitibo batzuk ardatz hartuko ditut horretarako. Analogiaren alderdi kognitiboa (batez ere irudimena), pragmatikoa (oro-korpena xedetzat izatea) eta estrukturala (arrazoiketa prozesuarena) izan ditut aztergai kasuotan, eginkizun heuristikoki, ebaluatzaile ala deskripti-boari begiratuta:

- i. analogiaren irudikagarritasunarekin lotua dagoen *indar analogikoa*, orokorpena xedetzat duela metodologia induktiboan kokarazten duena;
- ii. *katakresia* edo analogiaren abusuzko orokorpena, non pragmatikoki soilik deskriptiboa den figura bat heuristikoki ere emankor bihur dai-tekeen;

- iii. eta iturriak itua mapeatzeko (*mapping*) saretzen den erlazio-sistema sostengatzen duen *estrutur*a, non *zubi-analogiak* eta *inbariantzak* nabarmenduko diren hipotesi analogikoen ebaluazio bidetzat.

### i) Indar analogikoa

Indar analogikoa Millerrek (2000, 149 or.) aipatzen duen ezaugarri inportante bat da. Horren arabera, metaforetan itu eta iturriaren arteko tentsioa maximoa denean arrazonamendu ez-proposizionala dago tartean, zeina maiz irudimenean (irudizko gogo erduetan) oinarritua dagoen. Horrela, iturri analogikoaren irudikagarritasuna ongi zehaztua denean hazi egingo da indar analogikoa. Irudi baten barneko erlazio estruktura abstraktu batek orokorpen handia daramakie itu analogiko desberdinei, indar analogikoa emendatuz.

Bilaketa zientifikoan itua definitu gabea eta ezezaguna izan ohi da baina konparaketa literario batean, iturria eta itua ezagunak direnean, bata zenbat eta abstraktuagoa izan eta bestea zenbat eta konkretuagoa, orduan eta handiagoa izango da tentsioa eta honi dagokion sormen eskaera zerbait ganorazkoa ateratzeko bertatik.

Har dezagun kontuan konparaketa hau: «metafisikari bat gela ilun batean bertan ez dagoen sonbreiru ilun baten bila dabilen gizon itsu bat da». Hemen gauza hagitx abstraktu eta orokor bat (metafisikaria) gauza hagitx konkretu batekin konparatzen da; metafisikariarengan nabarmendu nahi den ezaugarri zehatz bat etsenplu konkretu batekin gailenarazten den (hizlariaren xedaren arabera). «Metafisikaria Jainkoa da» esaldiari, bi subjektu arunt abstraktu erlazionatuta, ez genioke sormen handirik aitortuko. Ezta «sonbreiru bilatzaile itsua goizean sagarra jatea gustatzen zaion gizona da» esaldiari ere, konkretuen arteko identitate-erlazio hutsala, egitate zehatz bat, izanik.

Horrela bada, indar analogikoa, irizpide bakarra ez izanda ere analogiaren sormen ahalmenarekin zuzenki loturik egonda, iturri analogikoaren irudikagarritasun eta konkretutasun matematiko-estrukturala eta honen itua-aren aniztasuna emendatu ahala hazten den arrazonamendu analogikoaren funtsezko ezaugarri bat da. Hots, erdietsi nahi den kategorizazio mailarekin, orokorpen asmoaren anbizioarekin, zuzenki lotuta dago. Indar analogiko handi batek sorkari arrakastatsu bat ziurtatzen ez baldin badu ere, genesi teoriko arrakastatsuetan indar analogikoa apurka hazi egin ohi da. Indar analogiko handiena aingura analogiko bat eskaintzen denean izango da, non programa baten sare teoriko osoa irudi analogiko zentral baten inguruan biltzen eta gorputzen den.

Horrela, itu eta iturriaren arteko indar hori analogia bidezko ideia berriaren ondorengo arrakasta enpirikoak baldintzatuko du, batez ere, mugapen

handiko fisika-matematikoari dagokionean. Fisikaren historiatic osziladore harmonikoarentzat eta uhinarentzat propio hartutako adibide mailakatuok hobeki ilustratuko dute esan nahi dudana:

1.1. *Maxwell: eremu elektromagnetikoa gurpil, polea eta jariakin multzo bat bailitzan portatzen da*

1865ean Maxwellek *On Physical Lines of Force* idatzi zuen. Bertan fenomeno elektromagnetikoak zurrumbilo molekularren irudizko sistema baten antzekoak zirela zioen. Artikulu berean, Helmholtz jariakin lerroen eta lerro magnetikoen arteko antzekotasunak ikertzen ari zela aipatzen zuen, «analogia fisiko bat bailitzan». 1860ko Britainian aparatu mekaniko eraikigarrietan oinarritutako irudizko ereduak ohikoak ziren eta beraz, *indar analogikoa* ttipia, iturri metaforikoaren aniztasuna handia baitzen, gailu mekanikoen konposizio ugarietan barreiatua. Esan nahi da ezen jariakinen portaera konplexuen eta fenomenologia zabalaren eta eraiki zitekeen edozein gailu mekanikoren arteko analogiak *behartzeak* itzal ahula zekarrela fenomenoaren fisikan.

1.2. *Planck: gorputz beltzaren erradiazioa gorputzaren barne-paretako elektroiak malgukietan dauden partikula kargatuak bailiran azter daiteke*

1900eko Max Plancken gorputz beltzaren erradiazioaren azterketan esentziala izan zen osziladore harmoniko sinplearen eredu. Termodinamikatik lortu zuen bere erradiazio lege famatuari oinarri atomistiko bat eman nahi izan zion. Nola sortzen zuten erradiazioa gorputzaren barne-paretako elektroiek? Hauek kargadun osziladore harmonikotzat hartzea erabaki zuen. Elektroia malguki bati lotuta egongo zela inork sinesten ez zuen arren eredu on bat da, osziladore harmonikoaren ekuazioa diferentziala erraz ebatz daiteke-eta. Orokorpen honek indar analogiko handiagoa dakar lehen baino, jostailu mekaniko soil batek han sorturiko gorputz beltzaren erradiazio elektromagnetikoa azaltzen zuelako materia-erradiazio elkarrekintzaren baitan.

1.3. *Eremu elektromagnetikoa osziladore harmoniko multzo bat bailitzan portatzen da*

Bohrreren eredu atomikoan eta Werner Heisenbergen teoria kuantikoan agertu ziren berriro osziladore harmonikoak. Gainera gaur egun elektroien osziladorea eremuen teoria kuantikoaren gakoa da. Maxwellen gurpilak eta poleak osziladore harmonikoaren estruktura matematikoak ordezkatu ditu, irismen teoriko zabalagoa eta sakonagoa eskaintzen duen heinean. Gainera, tratamendu hau gorputz beltza baino askoz ere fenomenologia zabalagoa



hedatzen da: atomoen konfigurazio elektronikoan, erradiazioaren barne-egituran eta materia-erradiazio elkarrekintzan darabilte.

Iturri analogikoa eta bere barne-estruktura nahiz erlazioak zehaztu ahala (hainbat gailu mekanikoren artetik osziladorea hautatuz) *jasokunde* bat dago honen abstrakzio mailan (iradokitzen dituen erlazioak termino matematiko fisikoki ez hautemangarrietan kokatzen dituelako) eta hierarkia teorikoaren mailan (teoriaren axiomatizazioan leku hartzen duelako). Halaz, jasokundeak indar analogikoa hazten du, baina ez da derrigorra alderantzizkoa, abuzuzkoa gerta daitekeelako.

## 2. Soinu, ur eta argiaren propietate analogoak uhin-mekanikak batzen ditu

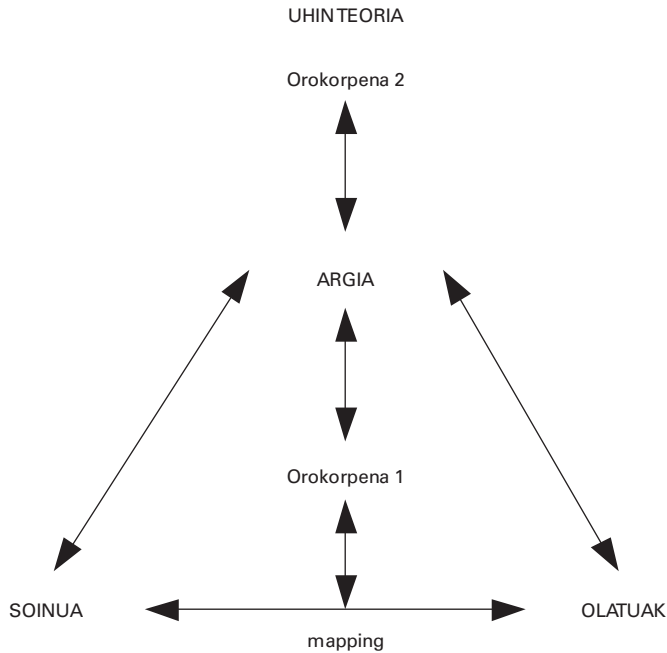
Grekoek jada erabili ohi zuten soinuaren eta uraren arteko analogia. K.o 1. mendean, Vitruvio arkitekto erromatarrak, anfiteatro grekoen akustika esplikatu nahian, esplizituki konparatu zituen ahotsak barreiatzen diren eta errebotatzen duten ur-uhinekin, soinua barreiatzen den eta oihartzun egiten duenez. Horra hor uhin teoria modernoaren antzinako jatorriak.

Argiari dagokionez, 1678ko *Treatise on Light* delakoan, Christiaan Huygens-ek argiaren eta soinuaren arteko analogia bat erabili zuen bere argiaren uhin teoria defendatzeko. Teoria hori Newtonen argi-partikulek eklipsatu zuten denbora luzez, baina Thomas Young-ek eta Augustin Fresnel-ek biziberritu zuten mende bat geroago. Izatez, argiaren eta soinuaren arteko analogiatik defendatu zuten argiaren uhin teoria.

Eta uhinaren matematika, berriro ere, osziladore harmonikoaren formula sinusoidalean oinarritzen da. Kasu honetan gauzatzen den orokorpena oso indartsua da, itsas olatuak, soinua eta argia, fenomeno ikusgarriak nahiz ikusezinak, oso sotilak nahiz bortitzak, kategoría bakar batean batzen baititu. Uhinaren indar analogikoa honek teoria kuantikoan erabili ohi den formulazioa argitzea ere lortu zuen, materia-uhinen nahiz uhin-funtzioen bidez.

Schrodinger-ek uhin-mekanikaren «edertasuna» aldarrikatu zuen Heisenbergen matrize-mekanikaren artifizialtasun matematikoaren aurrean, Dirac-ek biak, muinean, matematikoki isomorfoak zirela frogatu zuen artean. Gure ikuspegian uhin kontzeptuaren indar analogikoa liteke balizko edertasun horren jatorria, orokorpen ahalaren lilura hori.

Hala, *mapping* analogikoa dimentsio batean eta beste dimentsioan orokorpena hartuta (aurrerantzean ohikoa izango den bikotea, hain zuzen), diagramatikoki honela laburbil daiteke soinua, argia, olatuak, bibrazio elastikoak eta beste hainbat sistema fisiko batzen dituen uhin teoriaren genesisia:



### Ondorioak

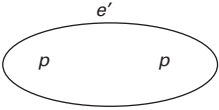
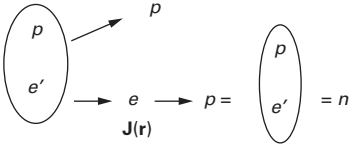
- Arrazanamendu analogikoak gidatutako sormen prozesu arrakastatsu batean orokorpena da ohiko emaitza bat, kategoria berri eta indartsuak eraikitzen dituena, indar analogikoak eutsita. Kategoria berrien aplikagarritasuna fenomeno sorta zabal batera hedatzean dago indar hori.
- Indar analogiko handiko eredu batean, Panditek esan bezala, hone-lako lanetarako inportanteak diren bi dimentsio kognitibo batzen dira: irudikagarritasuna eta familiartasun teoriko-teknikoa. Ongi formalizatutako matematikak izan ohi dituzte lege klasikoetako eredu bisualizagarriek (adibidez, «palankaren legea») eta ongi ezaguna ohi da hauen axiomatizazioa, beraz indar analogiko handikoak izan ohi dira, baita gero mundu kuantikoa bezalako eremu «ikusezinetara» aplikatu ahal izateko ere.
- Aitzitik, ongi ezagutzen den indar analogiko handiko formalismo abstraktu bat edozeri nola hala aplikatu nahi izateak abusuzko jarrerera bat ere ekar lezake. Puntu horretan agertuko da katakresiaren figura.

## ii) Katakresia

*Katakhresis*-ek abusatzea esan nahi du grezieraz. Linguistikan katakresia izen zehatz bat ez daukan zerbaiti erreferentzia egiteko erabiltzen den figura erretorikoa da, hitz ezagun bati adiera figuratiboa ematean datzana. Adibidez, «jostorrazaren begia» adierazpidean «begia» da zuloaren adiera figuratibora eraldatzen dena.

Jo dezagun genesi teorikoaren etapa bat non termino teoriko bati buruz ezin den eztabaidatu une horretan existitzen den terminologiaz. Halako kasuetan katakresi zeregina har dezake termino horri erreferentzia egiten dion analogia batek. Richard Boydek dioenez (1993, 485 or.), halakoetan analogiek ezinbesteko partaidetza dute ikerketa zientifikoaren tresneria linguistikoan. Halako analogiak «teoriaren osagaitzat» dauzka, teoria barnetik osatzen dutelako soilik esplikatzaileak izan gabe. Modu honetan, teoriaren osagai den analogiak «sarbide epistemikoa» eskaintzen du ikerketa gairantz edo iturantz. Fisikari komunitatearen barneko funtzio erretoriko edo komunikatiboaz haratago goaz horrela, fisikariaren sormen prozesuari helduleku bat eskaini ahal diolako halako figura batek, teknika erretoriko nahiz indar analogikodun irudi iraunkor gisa. Katakresiaren *funtzio deskriptiboan* geundeke hor.

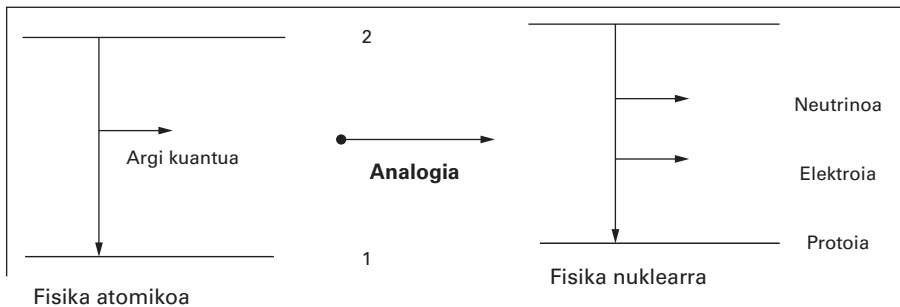
Millerrek (1986, 4. kapitulua) 1932ko Heisenbergen etsenplu esanguratsu bat ipintzen du fisika teorikoan katakresiaren zeregina ilustratzeko: indar nuklearra. Garai hartan nukleoaren barneko indar mota berezi bat postulatzea artean ezagutzen ziren bi indar nagusietatik (elektromagnetismoa eta grabitate) haraindi joatea zen. Nukleoaren barnean neutroia eta protoia elkartuko zituen indar mota berri horretaz pentsatzen ari zela, Heisenberge atomoaren bi elektroien artean hauek bereiztezinak izategatik sortzen zen indarra oroitu zuen. Elkartruke indar hau medio, elektro bereiztezinek euren lekuak elkartrukutzen zituzten erritmo azkar batean. Espazio nuklear batean gatibaturiko protoia eta neutroiaren kasuan ere elkartruke indar bat egon zitekeen beraz. Neutroia (protoi + elektro) sistematzat hartuta, irudian agertzen den gisan, elektro honek neutroiaren eta ondoko protoiaren artean elkartruke indarra gauzatu lukeen mezulari lana egingo luke. Hots, oro har, *indar nuklearra partikula bat elkartrukatuko bailitzan aritzen da*, Heisenbergen irudimenean spin gabeko elektro partikular bat. Jakina, indar nuklearraren mezulari gisa laster botako zuten atzera spin gabeko elektroaren aukera. Elkartruke partikularen analogiak, haatik, zutik iraungo zuen Hideki Yukamaren lanean mesoi deituriko elkartruke partikula definitiboa eszenaratzeko. Iturri analogikoa (elkartruke partikula), harrigarriro, fisikoki erreala zela topatuko zuten esperimentalki eta hasierako analogia erreferentzia literal bilakatuko zen. Horrela, elkartruke partikularen analogiak katakresi bat ezartzen du genesi teorikoaren hastapenean, azkenik arrakastaz egiaztatua dena. Egiaztapen horren bidean *funtzio heurisitikoa* agertzen du hemen hasiera bateko abusuzko analogiak.

<p>Irudikapena Ohiko intuizioaz</p>	 <p>(a)</p>	<p>(b)</p>
<p>Irudikapena Mekanika kuantikoaz</p>	<p>(c)</p>	 <p>(d)</p>

**1. irudia**

Millerren arabera, mekanika kuantikoaren baitako analogia bisualaz uler daiteke indar nuklearrean elkartruke partikularen beharra

Beste etsenplu bat ipintzearren, indar nuklearrari hertsiki lotuta Fermi-ren  $\beta$ -desintegrazioaren teoria dugu. Analogia interesgarri bat aipatzen du berak (Fermi 1934, 749 or.): «Nukleotik [neutrinoen eta elektroien] emisioaren teoria bat eraikitzen saiatuko gara kitzikatutako atomo baten argi kuantuen emisio teoriarekiko analogiaz».



**2. irudia**

Fisika atomikoan argi kuantua igortzen duen energia-maila arteko erorketa bezala ikus daiteke neutroi egoeratik protoi egoerara pasatzea, dagokion igorpenekin

Halatan, alde batetik, neutroiaren  $\beta$ -desintegrazioa bi mailatako sistema atomiko baten desintegrazioarekin lot daiteke, eta bestetik, elkarrekintza ahula bektore erakoa da elkarrekintza elektromagnetikoa bezalaxe. Bi analo-

giok funtsezkoak izan ziren Fermiren sormen prozesuan, bereziki bigarrena, indar analogiko handiagoa izatean teoria berria matematikoki adierazteko bidea ematen baitzion. Sormen prozesu honetan katakresia neutrinoaren emisioa (partikula neutro ñimiño bat) postulatzean dago. Hori Paulik lehenago egin zuen, batez ere energia-kontserbazioan ainguratuta. Hala ere, garai hartan ezaguna eta ohikoa zen sistema atomikoen desintegrazioa medio suertatzen zen fotoien igorpena, eta postula zitekeen indar txikiko analogiaz partikula ezezagun batzuen igorpena, energia soberakin bat egonda. Hemen igorritakoak karga neutroa eta masa oso txikia behar zuen. Egin kontu, garai hartan maila atomikoen arteko jauzietan igorritako fotoien analogia desintegrazio nuklearrera ekartzeak ez zeukan, hasiera batean behintzat, inongo oinarririk. Baina abusuzko zirudien ezarpen bat arrakastatsu bihurtuko zen denboraren poderioz. Partikulak eurak, neutroi eta protoia, egoera kuantikotzat eta maila energetikotzat hartzeak eskainiko zuen gerora jauzi teoriko garrantzitsu baten hazia.

### *Ondorioak*

- Hasiera batean klarki ikusten da katakresiak zientzian, literaturan edo erretorika politikoan bezalatsu, elkarrizketa kolektibo batean daukan balio komunikatiboa. Hau da, *funtzio deskriptibo-ilustratibo* bat hartzen du fisikari baten ahotik edo idazlumatik sortzen den momentuan eta irudi batean sintetizatzen du ahozkotasanaren bat-bateko jardunean forma matematikoez adierazi ezin den hori.
- Hasierako eginkizun soilik deskriptibo hau, haatik, heuristika emankor bihur liteke amaieran. Bi adibideetan ikusi denez, etapa teoriko goiztiar batean abusuzkoa dirudien analogia soilki ilustragarri bat emaitza esperimentalek egiaztatu duten jarraibide sortzaile bihur daiteke.

### iii) **Barne-estruktura**

Saunders Mac Lane (1986) matematikariak ideia matematiko berrien bilaketan nabarmentzen dituen gogo-prozesuetan aipatzen du analogia, eta bi eiteren arteko analogia, definizioz, hauen arteko estruktura komuntzat dauka. Hortik datorkit, fisika matematiko formalizatuenetik kanpo ere, analogiaren analisi estrukturala egin nahia. Mc Lanek espazio bektorialen estruktura geometria eta ekuazio diferentzialen azpian dagoela dio, adibiderako. Edota espazio metrikoan funtzioen jarraitasunak duen definizioak antzekotasunak ditu aldagai bakar edo anitzeko funtzioen jarraitasunarenarekin.

Jada aipatu dudan *orokorpena* eta fisikan arras garrantzitsua izango den *inbariantza* ere agertzen ditu matematikariaren gogo-prozesu kreatzaile horien artean. Aipatu dudan orokorpenari dagokionez, hainbat kasu konkretu-

ren orokorpenak daude «lege orokor» batera begira, goi kategoria bat eratuz. Besteetan, estruktura axiomatiko bat orokor daiteke axiomaren bat edo beste ezabatuta. Orokorpenak forma anitz har ditzake, analogiatik sortutakoa eta jada aipatutakoa esaterako. Inbariantzaren kasuan, transformazio taldearen mende dago definitu nahi den inbariantza horren izaera. Ondoren ikusiko ditugun adibideetan *mapping* analogikoak orokorpen nahiz inbariantzarekin batera osatuko du arrazonamendu analogikoaren estruktura generatiboa. Honela bada, bi adibide ilustragarriotan ideia berrietara sarbide epistemikoa eskainiko duen analogiaren estruktura oso horretan orokorpena eta inbariantza ezinbestekoa izango da sistema koherente bat ixteko.

Hau da, arrazonamendu analogikoak derrigorrezkoa du *mapping* prozesua baina arrazonamenduaren estruktura osatzekotan, hots, azken inferentzia bat lortzekotan, orokorpen, inbariantza edo bestelako prozesu bat eman behar da, beste izaera kognitibo bateko prozesu bat, alegia. Beraz, arrazonamendu analogikoaren estruktura osoan *mappingak* eskaintzen duen antzekotasun korrespondentziaz haratago joan behar da, itu problemaren soluziorako gailena dena aurkitzeak ez duelarik beti orokorpenik edo kategoria berririk sortuko. Itu problemaren propietate ezezagun eta zehatz bat agerrarazi daiteke, adibidez, azken inferentzia medio.

Orokorpenaren kasuan fenomenoak barne hartuko dituen kategoria berri bat sortzeko *xedea* izan ahal da mugapen nagusia, pisu handiena izango duen eskakizuna, fisikari teorikoen anbizioan gertatzen den legez. Hala ere, orokorpena xedetzat izan gabe, hau gertatzeko aukerarik ere aitzin suposatu gabe, inferentzia analogiko batek ezustean kategoria berri bat sor lezake.

Ikusiko den inbariantzaren kasuan ez dago orokorpenik azken konklusioztat, lotura analogikoak berak hartzen du pisu gehien, antzekotasun mugapenak alegia, *ituaren propietate baten* existentzia iradokitzeko.

Horrenbestean, mugapen nagusia xedea izan beharrean (fisikan ia beti orokorpen induktiboa) antzekotasuna denean ituaren propietate gailen bat nabarmenarazten da soluziobiderako. Mugapenak orokorpenerantz bultzarazten bagaitu berriz, iturriko eta ituko fenomenologia batuko duen kategoria berri abstraktuago bat izango da soluzioa dakarrena.

Kontuok argitzearren orain ikusiko diren bi adibideak honakoak dira, bata oinarrizko fisikakoa eta bestea kosmologia modernokoa:

- a) lurreko jaurtigai baten eta zeruko gorputz baten higiduraren arteko analogia, non arrazonamendu analogikoa zubi-analogiez osatuko den, orokortuz;
- b) zulo beltz baten singularitasunaren eta unibertso goiztiarra sortu zutenaren artekoa, non arrazonamendua Erlatibitate Teoria Orokorraren denborarekiko inbariantzaz osatuko den.

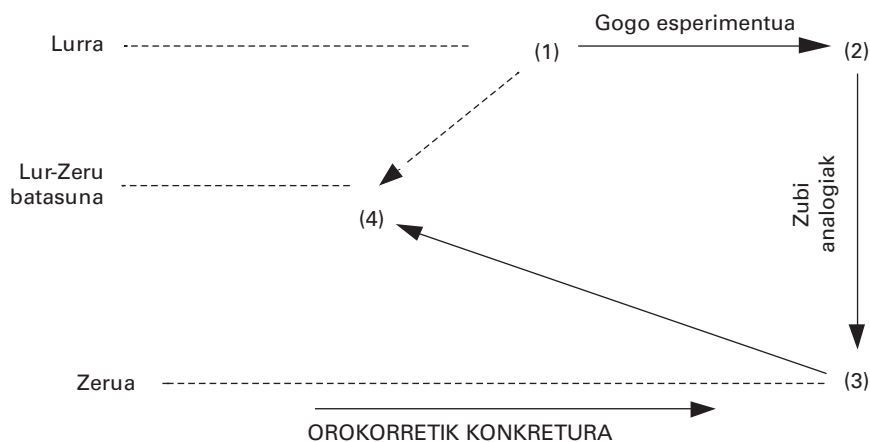
a) Lur azaletik geroz eta indar handiagoz jaurtitako gorputzen higidurak orduan eta orbitalagoak direla irudikatuz, Newtonek lurreko jaurtigaiaren higidurarekiko analogiaz intuitu zuen zerukoena. Lur eta zeruko higidura legeen batasuna lortu zuen bide horri jarraiki. Analogiaren *estruturari* dagokionez horrela analiza daiteke Newtonen sorkaria:

**Analogia:** lurreko jaurtigaiaren higidura zeruko gorputzenaren parekoa da.

**Estrutura:**

1. Lurreko jaurtigai bati abiadura geroz eta handiagoak eman dakizkioke (abiaduraren jarraitasunagatik).
2. Abiadura zehatz batera iristean jaurtiketaren irismena ludia inguratzerara iritsiko da, beraz
3. jaurtigaiaren higidura lurra orbitatzen duen gorputz zerutiar baten antzekoa izango da; horrela bada
4. lurreko eta zeruko gorputzen higidura legeak berdinak dira.

Diagramaz adierazita,



**1 diagrama**

1-2 pausoa abiaduraren jarraitasunari dagokio; 2-3 pausoa irudizko gogo-esperimentuaren ondorio den *mapping* analogikoari; 3-4 pausoa gogo-esperimentuaren orokorpen bat ematen da zero eta lurreko higidura-legeak batzeko; 1-4 erlazioak ixten du estruktura koherente bat analogiarentzat, marruskadurarik gabe, abiadura zehatz bat duen edozein gorputzek (erradio zehatz bateko) orbita periodiko bat marraztuko duelako grabitate-zentro baten inguruan. Hala, gogo esperimentu partikular bat legearen orokortasunaz jabetzen da arrazonomendu analogikoaren estrukturaren pean

Beraz, ilargia lurra erakarrita erori egiten da bere orbitan aurrera doan heinean, eguneroko objektu bat legez. Newtonen aieru ausartaren arabera ilargiaren lurraren inguruko biraketak eta sagarraren erorketak mekanismo kausal bera zuten. *The Principia* obra ezagunean *zubi-analogiak* zerabiltzan azken analogia hau osatzeko. Aipatutako analogiaren barne-estrukturan aipatu erara, jaurtigaia geroz eta urrunago iritsarazten da harik eta lurraren inguru orbita bat osatu arte. Kasuok zubitatzat har daitezke jaurtigaia bertikalki erortzen uzten dugun kasuaren eta ilargiaren orbitaren kasuaren artean. Bietan grabitateak egiten dio bultza objektuari.

Hainbat zubi-analogia errenkadan ipinita *trantsizio leun* bat burutzen da erorketa bertikaletik mugimendu orbitalera. Zubi-analogien trantsizio leun honek *analogiaren ebaluazio* mota ez-enpiriko eta ez-formal bat eratzen du, hala eraiki ahal izanez gero hipotesi analogikoari sinesgarritasun handia dakarkiona. Gainera, metodo ebaluatzaile honek *transformazio kontserbatu edo inbariantza* baten aukera oroitarazten du xede berarentzat, analogien ebaluazio ez-enpirikoarentzat. Halako transformazio batek, ikusiko denez, A kasua B kasu bihurtzen du A bren analogo bihurtzen duten erlazio inportanteak kontserbatuz. Gure adibidea ere ikuspegi honetan jar daiteke: jaurtigaiaien hasierako abiadura horizontala apurka-apurka emendatzeaz pentsatzeak inbariantza bat mantentzen du muinean, grabitatearen azelerazio aldaezina hain zuzen ere.

Ideia izan eta gero burutu beharreko ebaluazioaz haraindi, teoria zientifikoaren genesian eta ikerketa-programen baitan zubi-analogiek eta inbariantzek harilkatzen duten ildo oso interesgarria izango da gure azterbidean teoria sekuentzia bat marrazten baitute, Lakatosek dioten moduan. Behaketa jarraibideetatik (indukzioa) azalpen ereductara (*abdukzioa*) pasatzeko bidean elementu interesgarriak izango dira sekuentzia mailakatuak, analogien transformazio leunak nahiz funtsezko eduki kontserbatuak.

b) Joan den mendeko 60. eta 70. hamarkaden artean Penrosek eta Hawkingek, beste batzuen artean, erlatibitate teoria orokorrean lan egin zuten izarren eboluzioari begira. GTRren matematikaren arabera, kolapsatzen ari zen izar batek singularitasun bat eduki beharra zeukan bere baitan. Izatez, espazio-denborako edozein eremurentzat, energia eta materia nahikoa metatuta, singularitasun bat, baldintza batzuen pean, ekidinezina izango zela erakutsi zuten. Singularitasunak ekidinezinak ziren baldintza fisiko jakin batzuen peko eredu matematiko jakin batzuetan.

Stephen Hawkingek zorroztasun txikiagoko baldintzadun singularitasun teorema aurkitu zituen 1967an. Jakina, honek sinesgarritasun handiagoa eta irismen handiagorekin beharrezina inplikatzeko zuen. Singularitasunak GTRn berariazkoak ziren, eta errealak izan zitezkeen, zulo beltz forman. Dakuskigun izar gehienak, izarren eboluzio teorien arabera, zulo beltz bihurtzeraino kolapsa daitezke euren heriotzan. Baina zer gertatzen zen espazio-denbora lokala (izar batena) espazio-denbora globalera (unibertsora) hedatuz



gero? Horra hor analogia: izar batek bere baitan singulartasun bat hartzen badu, orduan unibertsoak ere hartu behar du, materia nahikoa badago-eta bertan. Orain ez, baina bere eboluzioaren uneren batean kolapsatzen bada unibertsoaren dentsitatea singulartasun erraldoi bat sortzeko lain izan daiteke. Eta hemen dator Hawkingen ideia bikaina: GTR denborarekiko inbariantea denez, denbora alderantz egin daiteke eta eboluzio guztia kontrako zentzuan ikusi. Hala, izar baten espazio-denbora lokalaren kasuan, singularitasuna zulo beltzaren iraganean existituko zen. Eta unibertsoaren kasuan, analogoki, hasiera-hasierako sorreran singulartasun bat beharrezkoa izango zen (Hawking & Penrose 1969). Horrela bada:

**Analogia:** Zulo beltz batek singulartasun bat dauka, beraz unibertso goiztiarrak singulartasun bat izan zuen iraganean.

**Estruktura:**

1. Izarrek singulartasunak garatzen dituzte, eta
2. unibertsoa izar bat bezala ikus daiteke, beraz
3. unibertsoak singulartasun bat sor dezake etorkizunean, eta
4. denbora alderantz egin daitekeenez,
5. singulartasun batek sortu zuen unibertsoa iraganean.

Hemen, ez dago aurreko kasuan bezalako orokorpen bat. Sarri, arrazonamendu analogikoaren azken ondorioa, ohiko *mappingaz* gain beste prozesu batez emana, orokorpenarekin lotua izan da. Orokorpenean beharrezkoa ei da hipotesi balioztagarri bat analogiaz osatzeko. Kasu honetan, hala ere, izarra unibertsoaren zati den heinean izarraren eboluzioa unibertsoa orokortu dela pentsa daitekeen arren, ez da hori estruktura adierazten duena. Unibertsoa eta izarra maila ontologiko berean daude arrazonamenduan zehar eta kategoria berean egote horrek ahalbidetzen du bientzat singulartasun batez hitz egin ahal izatea. Kasu honetan, beraz, ez dago ordena handiagoko kategorizazio berririk, *erredukzio edo murrizpen* bat dago, iturri analogiko sinpleago batek (izarrak) unibertsoarentzat (sistema murriztuarentzat) substantzialki singulartasunerantz eboluzionatzeko joera ezartzen du-eta. Jauzi analogiko hori *mapping* bat soilik da baina. Hortaz, arrazonamendu analogikoa koherenteki osatzeko denboraren *inbariantza* bezalako beste helduleku heuristikoko bat suposatzea beharrezkoa da ondorio berri esanguratsu bat lortzeko.

*Ondorioak*

- Arrazonamendu analogikoaren estruktura *mapping* analogikoa ez ezik beste izaera kognitibo bateko prozesu bat edo gehiago behar ditu osatua izateko.

- Kasuan kasu determinatzeke dago beste prozesu horien estatus kognitibo eta jatorrian analogiarekin izan dezaketen harremana.
- Arrazonomendu analogikoaren azken ondorioak orokorpenean badakar itua eta iturria barnebilduko dituen kategoria berri baten sorrera anbiotsua gauzatzen da. Kategoria berri horretatik pasatuz burutzen da soluziobidearen itu problemaranzko transferentzia. Hainbat propietate elkar erlazionatzen dituen estruktura bat definitzen da kategoria horretan. Bide horretan eraikitzen diren *zubi-analogiak* ez dira soilik krea-zio zientifikoaren parte, hipotesiaren *ebaluazio ez-enpirikorako* konbenzimentu iturri ere badira.
- Alderantziz, arrazonomendu analogikoaren azken ondorioak konkretutasuna badakar ituaren propietate zehatz, berri eta esanguratsu bat azaleratzen da planteaturiko problemari. Ipinitako adibidean inbariantza bat da propietate zehatz bat itutik iturrira transferitzea permititzen duen tresna heuristikoko gehigarria, ebaluatiboki ere sinesgarritasun handia dakarrena, printzipio gisa funtzionatzen baitu.
- Arrazonomendu analogikoa goi-kategoriako estruktura abstraktuetara mugatzea, orokorpenean soilik xedetzat hartuta, ikuspegi itxiegia da. Bigarren adibideak hala demostratzen du eta bide ematen dio bat-batean oroituriko (atzemate espontaneo) propietate zehatz baten transferentziak izan dezakeen garrantziari. Hau da, goi-ordenako erlazio abstraktuek ez ezik analogia espontaneo batek ere ekar lezake argirik problema mota batentzat.

## Erreferentzia bibliografikoak

- BLACK, M. (1993), «More About Metaphor». In A. ORTONY (arg.), *Metaphor and Thought*. Cambridge: Cambridge University Press, 19-41 or.
- BOYD, R. (1993), «Metaphor and Theory Change: What is "Metaphor" a Metaphor for?». In A. ORTONY (arg.), *Metaphor and Thought*. Cambridge: Cambridge University Press, 481-533 or.
- BROPHY, S.P. & SCHWARTZ, D.L. (1998), «Interactive analogies». In D. EDELSON & E. DOMESHEK (arg.), *Proceedings from the 1996 International Conference on the Learning Sciences*. Evanston, IL: Association for the Advancement of Computing in Education, 351-356 or.
- CLEMENT, J.J. (2008), *Creative Model Construction in Scientists and Students*. London: Springer.
- FERMI, E. (1934), «Versuch einer Theorie der  $\beta$ -Strahlen. I.». *Zeitschrift der Physik* 88: 161-177.
- GENTNER, D. (1983), «Structure-mapping: A theoretical framework for analogy». *Cognitive Science* 7: 155-170.
- GENTNER, D. (1988), «Metaphor as structure mapping: The relational shift». *Child Development* 59: 47-48.

- GENTNER, D. & M. JEZIORSKY (1993), «The Shift From Metaphor to Analogy in Western Science». In A. ORTONY (arg.), *Metaphor and Thought*. Cambridge: Cambridge University Press, 447-81 or.
- HAWKING, S. & R. PENROSE (1969), «The Singularities of Gravitational Collapse and Cosmology». PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY OF LONDON A314: 529-48.
- HEMPEL, Carl G. (1965), *Aspects of scientific explanation*. New York: The Free press.
- HESSE, M. (1966), *Models and Analogies in science*. Indiana: University of Notre Dame Press.
- HOLYOAK, K. & P. THAGARD (1995), *Mental leaps: analogy in creative thought*. Cambridge, MA: MIT press.
- JAMES, W. (1890), *The Principles of Psychology*. New York: Dover.
- KOKINOV, B., HOLYOAK, K., GENTNER, D. (2009), *New Frontiers in Analogy Research*. Sofia: NBU Press.
- KOLODNER, J.L. (1993), *Case-based learning*. Dordrecht: Kluwer.
- LAKOFF, G. (1993), «The contemporary theory of metaphor». In A. ORTONY (arg.), *Metaphor and Thought*. Cambridge: Cambridge University Press.
- LAKOFF, G. & R. NUÑEZ (2000), *Where mathematics come from*. New York: Basic Books.
- LLOYD, G.E.R. (1966), *Polarity and Analogy*. London: Bristol Classical Press.
- MAC LANE, S. (1986), *Mathematics, Form and Function*. New York: Springer-Verlag.
- MAXWELL, James C. (1861), «On Physical Lines of Force». *Philosophical Magazine* (4. serieak).
- MILLER, A.I. (1986), *Imagery in Scientific Thought: Creating 20<sup>th</sup> century physics*. Cambridge: MIT press.
- MILLER, A.I. (2000), «Metaphor and Scientific creativity». In Fernand HALLYN (arg.), *Metaphor and Analogy in the Sciences*. Dordrecht: Kluwer, 147-165 or.
- NAGEL, E. (1961), *The Structure of Science*. London: Routledge and Kegan Paul.
- PAATZ, R., RYDER, J., SCHWEDES, H. & SCOTT, P. (2004), «A case study analysing the process of analogy-based learning in a teaching unit about simple electric circuits». *International Journal of Science Education* 26(9): 1065-1081.
- PANDIT, G.L. (1983), *The structure and growth of scientific knowledge*. Dordrecht: Reidel.
- PEIRCE, C.S. (1931-36), *The Collected Papers*. Volumes 1-6. Eds. Charles Hartshorne and Paul Weiss. Cambridge M.A.: Harvard University Press.
- WEINBERG, S. (1993), *Dreams of a Final Theory*. London: Hutchinson.