

La física d'Aristòtil

Aristòtil es pot considerar el primer científic de la història: el seu mètode basat en l'experiència i la lògica va suposar una revolució sense precedents. En aquest article s'analitzen les limitacions de la física aristotèlica, però també les seves potencialitats, que fins permeten abordar alguns problemes d'interpretació de la mecànica quàntica.

Miquel Tarzan
Fundació i2CAT

Imatge de la dreta: bust d'Aristòtil, còpia romana d'un original de Lisip (palau Altemps, Roma).
Imatge de fons: esquema ptolemaic de l'univers extret d'una obra de Petrus Apianus (1539).



«Segons Aristòtil, la filosofia primera té com a objectiu l'estudi de l'ésser com a ésser.»

És difícil exagerar la importància que Aristòtil ha tingut en la història del pensament occidental. Va influir altres pensadors durant més de dinou segles, i en diversos modes, com ara el tomisme, però no només, ha arribat fins als nostres dies. Actualment hi ha un interès renovat en la seva metafísica. Des de la filosofia analítica fins a la filosofia de la ciència, s'exploren l'aplicabilitat i els límits de la visió aristotèlica del món i de la ciència.

Segons Aristòtil, la filosofia primera té com a objectiu l'estudi de l'ésser com a ésser, que és una manera especial d'estudiar l'ésser. Altres formes serien l'ésser com a subjecte del canvi, que seria la filosofia natural, o l'ésser no subjecte al canvi però no completament independent de la matèria, que serien les matemàtiques. L'existència d'una filosofia, la més alta, donada per l'estudi dels éssers eternals, no subjectes al canvi i independents de la matèria, és una qüestió que no queda clara. Què vol dir ésser com a ésser? Podem basar-nos en la seva obra *Categorías*: l'ésser pot ser de maneres diferents, anomenades categories, de les quals la primera, l'*ousia* primera, la substància primera, és la més important, ja que totes les altres la presuposen i existeixen en ella. Dit d'una altra manera, la categoria qualitat necessita una substància per poder existir. Hi ha categories substancials i categories no substancials, i també particulars i universals, i tot sembla indicar que cada categoria conté una jerarquia d'universals i particulars. Aquests universals es poden identificar amb els *eide* de Plató, però no seguirem per aquest camí en aquest treball.

Continuant amb el llibre quart de la *Metafísica*, tenim com a principi que l'ésser es pot dir de moltes maneres, però no de qualsevol manera. Les diferents maneres de ser tenen una ambigüitat que ell anomena *pros hen* (en relació amb un). Així, totes les coses que s'anomenen saludables tenen en comú la salut, i amb l'ésser passa el mateix: hi ha éssers en el sentit propi, que són les substàncies. Tenim un criteri per identificar substàncies, com allò que ni es diu d'un subjecte ni és en un subjecte, però encara no sabem què és el que fa que una substància ho sigui. Al llibre setè, Aristòtil proposa la teoria de la matèria/forma.

Comença el capítol 3 llistant quatre candidats a ser substància: l'essència, l'universal, el gènere i el subjecte. Començant pel darrer, Aristòtil considera el subjecte com a matèria, forma o la composició de les dues. Primer rebutja que la matèria sense forma, deixant de banda si existeix tal cosa, pugui ser la substància. Al capítol 4 del llibre setè analitza la possibilitat que l'essència sigui la substància. Aquí Aristòtil utilitza les seves obres lògiques, on lliga l'essència amb la definició. Però pot haver-hi essències que no són primàries, i així arriba a una jerarquia d'essències. Els detalls d'aquesta teoria els desenvolupa als capítols següents del llibre setè. Per exemple, un home blanc no és una essència primària, només és un compost de dues: ser blanc i ser home. L'essència és quelcom determinat i quan una cosa es predica d'una altra, no és en si determinada, com passa amb home blanc. Només hi ha essències primeres d'espècies d'un gènere. La definició i l'essència corresponen a la substància. Tenim, doncs, que les formes substancials són l'essència d'una substància i corresponen a una espècie, però no són un universal. Això és el contrari del que un esperaria de la seva argumentació, però és una afirmació inequívoca al capítol 13 del llibre setè. No ens detindrem en l'anàlisi dels intents de resoldre aquest enigma. En els seus diàlegs podia haver-hi més informació, però s'han perdut per sempre. Ara bé, en aquest llibre queda clar que en la seva ontologia l'essència correspon a la forma substancial. Aquest és un resultat que articula tot el pensament aristotèlic. La discussió sobre els universals que poden ser individus però no particulars queda fora de l'abast d'aquest treball.

La substància com a causa, capítol 17 del llibre setè. La substància és el principi i la causa de l'ésser i, novament, ens trobem amb un resultat de la física que articula el pensament metafísic. Només existeixen quatre causes: la causa material, la causa formal, la causa eficient i la causa final. No són necessàriament diferents i amb freqüència la forma, el motor i el *télos* coincideixen, com ara a *Sobre l'ànima*, on l'ànima és causa eficient, formal i final. A continuació Aristòtil proposa que la causa d'ésser una substància és la forma o essència que es predica de la matèria que constitueix aquella substància. La forma es predica

«Aristòtil és un dels filòsofs més propers a la natura i més dependents de les ciències naturals per articular el seu discurs.»

de la matèria, doncs. Un predicat d'una espècie s'explica amb un predicat subjacent d'una forma. El predicat d'una forma (formal) és més fonamental, ja que és la seva pròpia substància.

Llibre setè. Es tracta d'investigar les causes, els principis i els elements de les substàncies. Hi ha substàncies naturals (terra, aire, aigua, foc, resta de cossos simples). A més, també ho són les plantes, els animals i les seves parts. L'essència i el subjecte també són substàncies, en un altre sentit. A més, el gènere és substància en major grau que les espècies i l'universal ho és en major grau que els particulars. Les idees estan molt a prop de l'universal i del gènere i són substàncies. L'essència és entitat i el seu enunciat és la definició. Per tant, s'havia de parlar de la definició i les seves parts. Ni l'universal ni el gènere són substàncies.

Llibre novè. Les entitats sensibles tenen totes matèria i la matèria és també substància, que és, doncs, la substància de les coses sensibles enteses com a acte.

Allò capaç de ser és també capaç de no ser, i allò capaç de no ser és allò perible. D'aquí que una cosa amb la mera potencialitat de ser és perible. Per tant, allò que és etern no pot existir potencialment mai, és completament actual. Allò actual és previ en substància a allò potencial. A continuació Aristòtil tracta del principi de no-contradició, de la física, la matemàtica i la teologia, i de la relació entre potència, actualitat i moviment. En aquest punt defineix actualitat com l'actualització d'allò en potència com a tal. Després, al capítol 10 del llibre onzè analitza l'infinit i troba que l'infinit no té existència actual. Al llibre dotzè estudia els tipus de substància que hi ha i en troba tres. Una és sensible, i d'aquesta una és eterna i l'altra corruptible. La substància sensible està sotmesa a canvis, i el canvi té lloc a partir dels oposats, dels contraris. Així, hi ha necessàriament un substrat, allò que canvia cap a l'estat contrari, ja que els contraris no canvien. Aquest substrat és la matèria. Es dedueix que els canvis possibles són quatre: canvis segons l'essència, segons la qualitat, segons la quantitat i segons la posició. Al capítol 6 del llibre dotzè analitza la substància en acte i immòbil que causa eternament el mo-

viment. Bàsicament, el llibre dotzè es dedica a la unificació vertical de totes les substàncies. Al capítol 6 del llibre dotzè explica com el cel primari es mou pel déu primari, en el sentit que tots som moguts pel bé que desitgem.

Els tres primers llibres de la *Física* els dedica a l'anàlisi de les causes.

Al llibre quart ens diu que el lloc existeix com a cosa diferent dels cossos que l'ocupen. El lloc, a més, exerceix un cert poder, empeny les coses cap al seu lloc natural. Hi ha direccions absolutes: a dalt, on van el foc i els cossos lleugers, i a baix, on van la terra i els cossos pesants. El lloc no és ni matèria ni forma. Altres dificultats es resolten. El lloc no és una part de la cosa continguda, i tot lloc posseeix un a dalt i un a baix. El lloc d'una cosa és el primer límit immòbil d'allò que la conté. La doctrina del lloc natural li fa rebutjar la possibilitat ontològica del buit. Com? Un cos llançat es mou per antiperistalsi o per l'aire desplaçat, que l'empeny més ràpid que el seu moviment cap al lloc propi. Aquesta falta de concreció és un avís que estem en un punt delicat del pensament d'Aristòtil, un punt en què les seves hipòtesis no porten cap a una conclusió que expliqui el moviment forçat.

Aristòtil és un dels filòsofs més propers a la natura i més dependents de les ciències naturals per articular el seu discurs. En els moments més abstractes de la *Metafísica* —per exemple, quan parla de la causa primera—, el que veiem és la seva física aplicada. Si canviem la física, les conclusions a les quals arribem són radicalment diferents encara que només modifiquem la metafísica l'imprescindible. Per exemple, si la força és proporcional a l'acceleració, com sosté Newton, no podrem assegurar l'existència de Déu. La primera i la segona vies de sant Tomàs ja no porten enlloc.

En la ciència, abans del segle xv no existeix un llibre tan important com la *Física* d'Aristòtil. Hi trobem algunes de les seves principals eines conceptuals, com l'anàlisi de les causes i, sobretot, el primer experiment físic de la història. Al capítol 5 del llibre quart compara la velocitat d'un cos travessant aigua i travessant aire. Amb això estableix

«En la ciència, abans del segle xv no existeix un llibre tan important com la *Física* d'Aristòtil.»

una proporció entre les velocitats i les resistències al pas. D'aquesta proporció dedueix una de les primeres conseqüències més importants de la seva visió del cosmos: el buit no té cabuda en el seu sistema. Un cos que travessés un buit agafaria una velocitat infinita.

Però la *Física* no s'atura aquí. Aristòtil rebutja la noció d'acció a distància. És un punt a favor seu. Una de les dificultats a les quals s'enfrontarà Newton dinou segles més tard serà la natura de l'atracció gravitatòria. Per a Aristòtil, tot el que es mou ho fa per l'acció d'algú altre, i la força és igual a la velocitat. Així, hi ha una cadena de transmissió del moviment. És una cadena infinita o finita? Aristòtil troba que no pot ser infinita, ja que l'infinit només pot existir en potència. La cadena no funcionaria si fos infinitament llarga. Per tant, la cadena té un principi i ell anomena motor immòbil aquest primer motor. Analitzant aquest motor, s'adona de la seva necessitat i de la seva situació com a acte pur sense potència. Però com és possible que el primer motor mogui? Perquè mou en el sentit que tots som moguts pel bé que desitgem. El *télos* seria el bé. Sant Tomàs trobarà Déu en aquests raonaments, part del que es coneix com la demostració de les cinc vies.

Naturalment, ara sabem que la física no funciona així, o, com a mínim, no a tot arreu, però podem salvar alguna part del naufragi? Primer, Aristòtil té dos tipus d'errors: substancials i no substancials. Aquests darrers són errors que no afecten l'estructura del seu pensament; per exemple, la seva incapacitat per formular la força d'Arquímedes. La seva forma correcta no entra en contradicció, com a mínim directament, amb la resta del seu pensament. Els errors substancials els podem identificar com aquells la resposta correcta dels quals sí que entra en contradicció amb el seu pensament. Per exemple, la força no és proporcional a la velocitat en general, només en determinades circumstàncies.

Hem de tenir en compte que el *télos* de la física d'Aristòtil és desmuntar les afirmacions dels filòsofs escèptics, i amb aquest criteri podem dir que va ser un èxit. Si ens fixem en els darrers tres llibres de la *Física*, veiem que la natura con-

tínua del temps és una aportació de primer ordre que va desenvolupar abans del llibre v dels *Elements* d'Euclides.

Aristòtil no fa trampes: la seva física és coherent amb la física clàssica només tenint en compte les condicions experimentals. Per la descripció del mateix Aristòtil, sabem que la seva física és la física dels cossos en moviment en fluids.

Des d'un punt de vista històric, podem veure Aristòtil com el primer científic, si bé d'un paradigma científic primitiu —en el sentit propi de primer—. El seu mètode basat en l'experiència i la lògica va ser una revolució sense precedents. Hem de tenir en compte que Newton tenia Aristòtil, mentre que Aristòtil només tenia els escèptics. És rellevant mencionar la importància del pensament aristotèlic en la seva pròpia superació al principi de l'edat moderna: Bacon i Boyle pensaven en termes escolàstics, així com Huygens un temps més tard. És difícil pensar la revolució científica sense Aristòtil.

Rebutjar la metafísica aristotèlica va generar problemes també per a la física clàssica, va portar a l'atac de Hume a la causalitat i al problema de la inducció. Fins i tot les lleis de la natura són difícils d'entendre. Apellar a les regularitats de la natura no és suficient: el que causa la regularitat en primer lloc no queda explicat per l'apellació a la regularitat de les causes eficients. Podem dir ara que Aristòtil no té aquest problema gràcies a la causa final, el *télos*, que és qui lliga causes i efectes.

Si la *Física* hagués acabat amb la mecànica clàssica no caldria afegir res més, però el segle xx és el segle de la mecànica quàntica. Ens trobem amb la superposició d'estats quàntics, el col·lapse de la funció d'ona, la funció d'ona en si mateixa i l'entrellaçament quàntic. Els problemes que la mecànica quàntica suposa per a la comprensió de la realitat no es poden menystenir.

Per a Aristòtil, el conjunt de causes eficients en un fenomen no és suficient per donar per explicat el fenomen. És necessari entendre les quatre causes i, en particular, el *télos*. Aquest és un punt fonamental que marca una dife-



Detall de l'Escola d'Atenes (1510-1511), de Rafael (Museus Vaticans).

rència que es pensava insalvable des de la ciència moderna. Aquesta teleologia medieval desapareix amb la revolució científica i no podem dir que això no hagi estat un resultat positiu, però el *telos* aristotèlic encara pot ajudar-nos. Hem d'entendre correctament què és el *telos*: el *telos* del canvi no és establert i realitzat retroactivament per un objectiu en el futur distant, sinó que és simplement el contingut i el context del canvi en si mateix. El *telos* és només el conjunt de conseqüències característiques i regulars dels agents i causes eficients que operen en el món natural. Dit encara d'una altra manera, el *telos* no és res més que el producte o resultat característic que acompanya el tipus particular d'acció eficient. Com identifiquem el *telos*? L'establim amb el dispositiu de mesura, que és el que permet que s'expressi en una forma concreta l'essència del sistema quàntic que sotmetrem a mesura. És a dir, la manifestació actual d'una potencialitat requereix un dispositiu particular: el dispositiu experimental.

Acte i potència, matèria i forma

Sincrònicament, la matèria i la forma componen la substància individual, però diacrònicament la idea és que la matèria i la forma corresponen a la potencialitat/actualitat o *dynamis/entelecheia* o activitat/energia. *Dynamis* és la capacitat d'una cosa per produir un canvi. L'exercici d'aquesta capacitat és *kinesis* o moviment. Però en un altre sentit, més important, *dynamis* és potencialitat. En aquest sentit, es tracta de la capacitat d'estar en un estat diferent i més complet. És a dir, la matèria està associada

a la potencialitat i la substància, a l'actualitat. Igual que Aristòtil dona prioritat a la forma sobre la matèria, també dona prioritat a l'actualitat sobre la potencialitat. Per exemple, la llavor ha de ser precedida per la planta, o l'ou ha de ser precedit per la gallina, i així l'actualitat és prioritària també en el temps. Resumint, allò actual és previ en substància a allò que és potencial.

La física moderna comet el mateix error que Parmènides, restringint allò real a allò actual. Aristòtil, com hem vist, és hilomòrfic. Un bloc de gel canvia en aigua líquida, però hi ha un substrat que persisteix en el canvi. Aquest substrat és la matèria i el que canvia és la forma que posseeix. Per a Aristòtil, hi ha diferents graus d'actualitat, depenent de com de prop o de lluny estiguem de la matèria «prima». En particular, el món macroscòpic és més actual que el món microscòpic. Per això el món microscòpic té un comportament menys determinista.

Segons Heisenberg (1958), la funció d'ona no és res més que l'expressió física de les potències aristotèliques. És a dir, hem de reïficar la funció d'ona, però fins a quin punt?

Quina és la natura ontològica de la funció d'ona? De les possibles aproximacions (Maudlin, 1995) a aquesta pregunta, una que té un gran interès és la proposada per Bohm (1954) i Broglie (1928), coneguda com la teoria de l'ona pilot. Aquest és l'extrem en què tractem la funció d'ona com un ens completament real. Això porta altres problemes.

«L'entrellaçament quàntic perd part del seu misteri quan l'analitzem amb les eines aristotèliques.»

Segons el pensament d'Aristòtil, la funció d'ona no seria considerada una substància en si mateixa, ja que no té una existència independent. Més aviat, seria vista com una propietat o un conjunt de potencialitats que pertanyen a les substàncies físiques (com les partícules). No hi ha un consens clar sobre aquesta qüestió, que cau més dins del camp de la metafísica que no el de la física. Quan parlem de la funció d'ona com si fos una entitat real, la reïfiquem sense assignar-li una existència actual, com farien Bohm o Everett. Les superposicions són interpretades com a potencialitats d'una substància o estat, no com a estats actuals. És a dir, la substància no es troba en un estat definit en la realitat. Preguntar-se què és físicament una superposició és buscar una realitat actual en allò que és, per naturalesa, només potencial. El que és físic és, per definició, actual. Un estat potencial no pot ser observat, ja que no existeix de manera actual per ser observat.

Altres problemes que es poden tractar millor amb l'aristotelisme són el de la mesura, el col·lapse de la funció d'ona i l'entrellaçament quàntic. Una mesura es pot definir com el contacte entre un objecte perceptible amb algun ens que és no perceptible, però això no és prou general. Més acuradament, podem descriure la mesura com l'acció d'un ens actual sobre un conjunt de potencialitats. D'aquesta manera més general podem explicar com objectes en un conjunt d'estats potencials poden passar a un estat actual en contacte amb un ens en un estat actual encara que no sigui perceptible, una situació comuna en el cas de mesures successives —Sakurai (1993, p. 34) anomena això el cor de la mecànica quàntica—. Una potència no pot per si mateixa convertir-se en acte, necessita alguna cosa en acte.

El col·lapse de la funció d'ona és, doncs, el resultat d'un tal mesurament que implica l'actualització d'un dels resultats potencials d'un estat.

L'entrellaçament quàntic perd part del seu misteri quan l'analitzem amb les eines aristotèliques. Agafem dos fotons entrellaçats: la mesura de la polarització d'un d'ells canvia instantàniament el que podem obtenir d'una mesura de la polarització de l'altre. Com és possible? La raó

és que la mesura d'un dels fotons canvia, de manera instantània i acausal, les potències de l'altre. Això no va contra la relativitat, un canvi en les potencialitats no involucra cap propagació física ultralumínica.

No podem explorar aquí altres avantatges de l'aproximació aristotèlica de la mecànica quàntica, però sí que mencionarem l'hilomorfisme còsmic, on la substància com a matèria i forma s'ha proposat com una aproximació al problema dels fonaments de la mecànica quàntica.

Hem vist en primer lloc les limitacions de la física aristotèlica, però també les seves potencialitats. Hi ha moltes coses per preservar, com ara l'hilomorfisme, l'anàlisi de les quatre causes, i l'ésser en acte i en potència, que ens ha permès analitzar diferents problemes d'interpretació de la mecànica quàntica. Costa de creure, però un grec de fa dos mil tres-cents anys que no havia vist gairebé res del món entenia la funció d'ona millor que algunes de les ments més privilegiades de la història.

Bibliografia

- Allori, Valia (ed.). 2022. *Quantum mechanics and fundamentality. Naturalizing quantum theory between scientific realism and ontological indeterminacy*. Nova York: Springer (Synthese Library). DOI: 10.1007/978-3-030-99642-0.
- Bohm, D. i Vigier, J. P. 1954. «Model of the causal interpretation of quantum theory in terms of a fluid with irregular fluctuations». *Physical Review*, 96, 208, 1 d'octubre.
- Brogliè, Louis de. 1928. *Mecanique ondulatoire*. París: Gauthier-Villars.
- Kožnjak, Boris. 2020. «Aristotle and quantum mechanics: Potentiality and actuality, spontaneous events and final causes». *Journal for General Philosophy of Science*, 51, pp. 459-480.
- Maudlin, Tim. 1995. «Three measurement problems». *Topoi*, 14(1), pp. 7-15.
- Sakurai, Jun John. 1993. *Modern quantum mechanics*. Boston: Addison Wesley.
- Simpson, William M. R. 2021. «Cosmic hylomorphism». *European Journal for Philosophy of Science*, 11 (28).