



© NASA / ESA / Jesús MAiz Apellániz (IAA, Espanya)

Si volem esbrinar què va passar en les etapes molt primitives de l'univers haurem de saber com es combina la gravitació i la física quàntica, i aquesta ha estat una preocupació essencial en les aportacions físiques de Stephen Hawking. En la imatge presa pel telescopi Hubble, dos estels massius, WR 25 i Tr16-244 situats al cúmul obert Trumpler 16, dins de la Nebulosa Carina.

# DE LA BREU HISTÒRIA DE TOT AL GRAN DISSENY

## EVOLUCIÓ DEL PENSAMENT DE STEPHEN HAWKING

David Jou

A les acaballes del segle XIX, alguns científics van creure que la física teòrica estava a punt de ser completada, és a dir, a punt de conèixer tots els constituents bàsics i les interaccions bàsiques de la realitat física. Els motius per a aquesta opinió eren diversos: la mecànica hi havia incorporat sòlids i fluids; l'electricitat i el magnetisme havien donat la teoria electromagnètica de la llum, incorporant-hi així l'òptica; la termodinàmica es connectava amb la mecànica estadística. Per a Lord Kelvin, la realitat bàsica era l'èter electromagnètic, i els diversos tipus d'àtoms eren vòrtexs en aquest èter. L'evolució de la física va ser, però, molt diferent d'això: en menys de deu anys es van descobrir els electrons, la radioactivitat, la relativitat especial i la física quàntica. La física teòrica quedava novament oberta.

### ■ UNIFICACIÓ DE FORCES I CULMINACIÓ DE LA FÍSICA TEÒRICA

Malgrat la rotunda desautorització d'aquelles previsions, la temptació es repeteix a les acaballes del segle passat. Stephen Hawking n'és, probablement, l'exponent més destacat. El 1988, en *Breu història del temps*, i en el seu discurs d'accés a la càtedra Lucasiana de Cambridge, sostenia que ja érem a les envistes de la culminació de la física teòrica. Aquesta és, també, la idea essencial del seu darrer llibre, *El gran disseny* (2010), vint-i-dos anys després. Ara bé, què s'entén per culminació de la física teòrica ha canviat radicalment entre aquests dos llibres.

S'entén per culminació de la física teòrica el coneixement dels constituents bàsics i de les interaccions bàsiques de la realitat física. Hi ha, però, una diferència rellevant amb el segle XIX: llavors no s'exigia que forces i partícules haguessin de ser unificades. L'exigència

**«SI VOLEM ESBRINAR QUÈ VA PASSAR EN LES ETAPES MOLT PRIMITIVES DE L'UNIVERS HAUREM DE SABER COM ES COMBINA LA GRAVITACIÓ I LA FÍSICA QUÀNTICA. AQUESTA HA ESTAT UNA PREOCUPACIÓ ESSENCIAL EN LES APORTACIONS FÍSQUES DE STEPHEN HAWKING»**

d'unificació, en canvi, sembla avui un element essencial de les previsions de la física teòrica.

Aclarim, doncs, on som i què caldria aconseguir per assolir la unificació. Coneixem quatre interaccions: gravitatòria, electromagnètica, nuclear feble i nuclear forta, que en el nostre món es comporten de maneres radicalment diferents. On rau la necessitat d'unificar-les? En el fet, podem respondre, que a energies molt elevades els seus comportaments semblen convergir entre si. Les interaccions electromagnètica i nuclear feble han estat

unificades satisfactòriament –només falta descobrir el bosó de Higgs perquè aquesta tasca es pugui considerar culminada–; la interacció nuclear forta és ben descrita per la cromodinàmica quàntica; les interaccions electrofeble i nuclear forta no estan encara del tot unificades entre si, però hi ha teories de gran unificació més o menys plausibles. Qui es resisteix a ser unificada amb les altres és la interacció gravitatòria. La dificultat ve del fet que les altres interaccions són rígides per la física quàntica, mentre que la gravitació presenta grans dificultats per fer-la compatible amb la física quàntica.

Pel que fa a les partícules, les dividim entre partícules de matèria (quarks, sensibles a la interacció forta, i leptons, insensibles a aquesta interacció) i partícules de força (bosons intermediaris). Hi ha tres «generacions» de quarks i de leptons, segons les seves masses: quarks (*u* i *d*, *s* i *c*, *t* i *b*), i leptons (electró, muó, tauó i els seus neutrins corresponents). Els bosons intermediaris són els quanta de les interaccions: fotó (interacció electromagnètica), partícules  $W^+$ ,  $W^-$  i  $Z_0$  (interacció feble), gluons (interacció forta) i l'hipotètic gravitó (gravitació).

En termes d'aquestes partícules i interaccions podem descriure un cinc per cent del contingut de l'univers. L'altre noranta-cinc per cent (constituït per matèria fosca i energia fosca), el desconeixem. Deixem de banda,

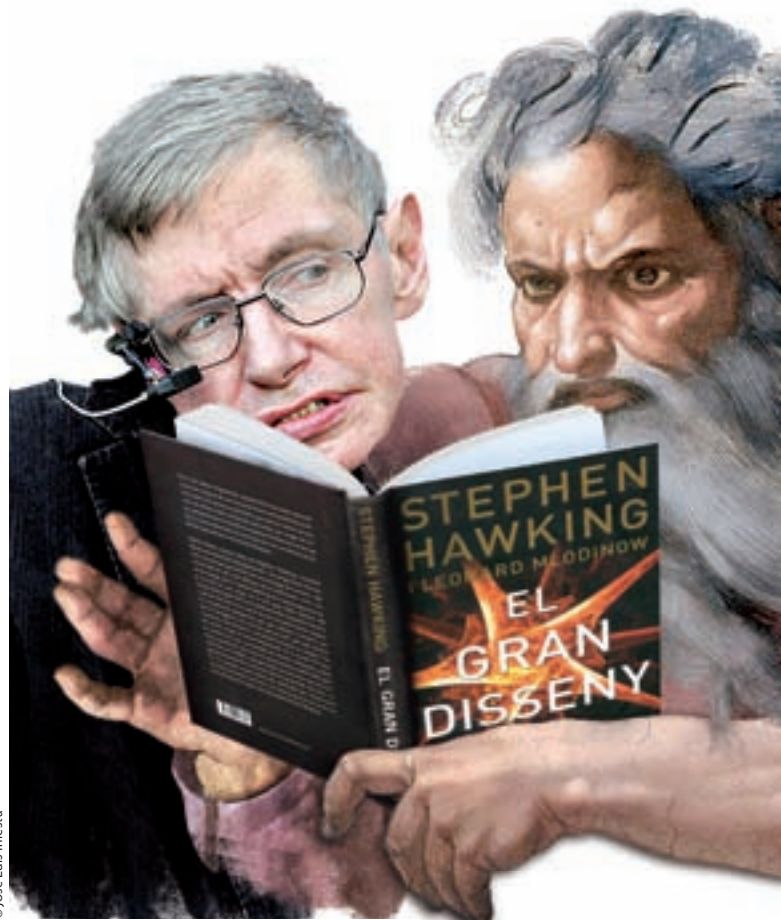
ara com ara, aquest petit detall i centrem l'atenció en allò que coneixem. No podríem donar per culminada la física teòrica, ja que hem identificat les partícules i forces bàsiques? La resposta és no: en la teoria hi intervenen una cinquantena de paràmetres: les constants físiques –constant de la gravitació, velocitat de la llum, constant de Planck, càrregues i masses de més d'una dotzena de partícules–, i constants de les interaccions forta i feble.

Podríem admetre que el món és així i no preocupar-nos pels valors de les constants –al cap i a la fi, són determinats experimentalment amb gran precisió–, i acceptar que la gravitació refusa ser unificada amb les altres interaccions. Al capdavall, segons la relativitat general, la gravitació no és pròpiament una interacció sinó una geometria. D'altra banda, la gravitació descriu estrelles i galàxies, i la física quàntica nuclis, àtoms i molècules. En la física atòmica i nuclear, la gravitació és irrellevant. En la cosmologia, la quàntica sembla irrellevant. Per què cal unificar-ho?

#### ■ PER QUÈ CAL UNIFICAR?

D'una banda, perquè l'univers actualment visible va ocupar, fa uns tretze mil set-cents milions d'anys, un volum inferior al d'un nucli atòmic i hagué d'estar sotmès, doncs, a la física quàntica. Si volem esbrinar què va passar en les etapes molt primitives de l'univers (temps inferiors a milionèsimes de bilionèsimes de bilionèsimes de bilionèsimes de segon) haurem de saber com es combina la gravitació i la física quàntica. Aquesta ha estat una preocupació essencial en les aportacions físiques de Stephen Hawking.

El segon motiu per a aspirar a una unificació és poder explicar els valors de les constants físiques. En els darrers cinquanta anys, estudis teòrics han posat de manifest que els seus valors representen un paper decisiu en el contingut de l'univers. Si canviem alguna de les constants, com per exemple la massa dels electrons, el resultat no seria un univers com el nostre però amb electrons una mica més pesants, sinó un univers en què la taula periòdica estaria reduïda a hidrogen, heli i liti, i en què no hi hauria vida. Si canviem la constant de la gravitació, l'univers s'hauria expandit o bé més ràpidament, i ara només contindria un gas homogeni d'hidrogen i heli, sense galàxies ni estrelles, o bé s'hauria frenat i tornat a col·lapsar abans de formar cap galàxia. En poques paraules: pel que fa a les constants físiques, l'univers sembla molt ben sintonitzat per tal que hi pugui haver carboni, condició per a l'existència de vida tal com la coneixem. Aquesta sensibilitat sorprenent fa que resulti més interessant –vitalment interessant i no sols acadèmicament interessant– saber d'on vénen els valors d'aquestes constants.



Dels dos estímuls vers una teoria unificada –unificar el gran i el petit, i explicar els valors de les constants físiques– el primer no ha variat des de 1988, mentre que el segon ha canviat radicalment. El 1988 es creia que conciliar física quàntica i gravitació també resoldria el problema de les constants físiques, tot determinant-ne uns valors únics, que haurien de ser, és clar, els valors observats. No ha estat així, però, i aquí rau la gran diferència entre els dos llibres de Hawking, que representen, doncs, dos moments molt interessants però molt diferents.

#### ■ GRAVITACIÓ I FÍSICA QUÀNTICA

Anem, primer, a la conciliació entre gravitació i física quàntica. En els anys vuitanta sorgí l'anomenada teoria de supercordes. En ella, l'espai tenia nou dimensions, sis de les quals plegades sobre si mateixes amb un radi milions de vegades inferior al radi del protó. Les entitats bàsiques no eren partícules sinó cordes minúscules, les diferents vibracions de les quals serien percebudes com partícules diferents. Amb aquest nombre de dimensions, s'aconseguia eliminar una sèrie d'infinitos que sorgien quan s'intentava aplicar la física quàntica a la relativitat general. Hi hagué un moment de gran optimisme: semblava que la unificació total fos possible. Era l'atmos-



fera intel·lectual en la qual va ser escrit i publicat el primer gran èxit editorial de Hawking (*Breu història del temps*). Semblava, realment, que la gran unificació estigués a l'abast, si s'aconseguia resoldre diverses dificultats matemàtiques d'envergadura.

Però el resultat va ser molt diferent: en lloc d'obtenir una teoria única s'obtenien cinc grans famílies de teories, cadascuna de les quals era compatible amb un nombre immens de valors de les constants físiques. La teoria M, amb una dimensió addicional, és a dir, amb un espai de deu dimensions, va ser capaç, fa uns deu anys, d'establir relacions entre les grans famílies de possibilitats sorgides de la teoria de supercordes. Així, les diverses teories semblaven complementar-se entre si com ho fan els mapes de les diferents regions de la Terra, que descriuen territoris diferents però les descripcions dels quals coincideixen en les zones en què se solapen mútuament. Ja no esperem, doncs, una sola teoria per a les interaccions, sinó teories diferents, que coincideixen, però, en els àmbits en què se solapen. Primer canvi, doncs, respecte de les idees de 1988: la teoria ja no serà única, sinó diversa, segons els diferents dominis de grandària i energia considerats.

Però aquestes teories són compatibles amb un amplíssim conjunt de valors possibles de les constants físiques: la teoria no pot explicar-ne els valors concrets. L'explicació dels valors que observem no estaria, doncs, en la mateixa física, que admet moltes possibilitats, sinó en el fet que nosaltres, observadors, no podríem existir si les constants físiques no fossin aquestes. Naturalment, si l'únic univers existent fos precisament el nostre, seria gairebé impossible defugir la idea de miracle de l'existència. Per què, de tots els universos físicament possibles, va ser triat precisament el nostre?

#### ■ DE L'UNIVERS ÚNIC A MOLTS UNIVERSOS

Es pot defugir aquesta sorpresa si s'admet la idea de multivers: és a dir, no hi ha tan sols un sol univers, el nostre, delicadament ajustat per a l'existència de vida, sinó tots els universos possibles, amb lleis i constants diferents: en total, uns 10 elevat a 500 tipus d'universos diferents. En la immensa majoria d'ells no hi hauria vida.

¿Què justifica acceptar la idea de molts universos, si fins ara la física havia refusat allò que en principi no era observable, i havia aplicat la navalla d'Ockham,

triant les teories sòbries per damunt de les abarroca-des? L'impuls per justificar-ho ve de la idea de l'univers com a resultat d'una fluctuació quàntica i de les idees de la cosmologia inflacionària. En aquesta, l'univers hauria crescut exponencialment, durant una època molt breu, ampliant enormement una zona diminuta i amplificant diminuts efectes quàntics; en la primera, espaitemps diversos anirien sorgint i col·lapsant-se espontàniament, i alguns d'ells, excepcionalment, podrien donar un univers immens.

#### ■ ELS DEBATS DEL PARALLELISME TEOLÒGIC

Aquest és l'entorn conceptual i el contingut essencial d'*El gran disseny*. Hi ha un nombre vertiginós d'universos, que van sorgint i desapareixent a l'atzar, i només en poquíssims d'ells hi pot haver vida. Passant a un paral·lelisme teològic –difícil d'evitar quan es parla dels inicis, i molt reditici en la difusió del llibre–, les conclusions de Hawking també varien. En la *Breu història del temps*, arribar a les equacions últimes unificades seria com conèixer «la ment de Déu».

En *El gran disseny*, les equacions van donant, a través d'efectes quàntics, universos a l'atzar. Hi ha una racionalitat, però no és vista com a ment de Déu, perquè treballa cegament, atzarosament, vanament.

Però les preguntes subsisteixen. Què és el no-res? D'on vénen les equacions? Com es passa del

no-res a un univers? Per què hi ha d'haver equacions? Per què hi ha universos? De què és fet l'univers? Si l'univers fos infinit des del primer moment, podria ser el resultat d'una fluctuació quàntica? Si intentar unificar gravitació i quàntica, en lloc de dur a més unificació, duu a més disgregació, anem pel camí correcte?

*El gran disseny*, un llibre ben estructurat, amè, relativament clar, escrit amb agudesa i humor, no resol tots els dubtes, ni físics ni metafísics, referents a l'origen i existència de l'univers. Ningú no pretenia, és clar, que ho fes. En tot cas, el contrast entre aquests dos llibres de Hawking manifesta de manera fascinant l'evolució del pensament físic dels darrers trenta anys. Hi ha, però, idees alternatives, que no sabem encara on ens duran. Probablement, tenim encara un llarg viatge pel davant, amb moltes sorpreses. ☺

**David Jou.** Catedràtic de Física de la Universitat Autònoma de Barcelona. Ha traduït diverses obres de Stephen Hawking, entre les quals *El gran disseny* (Columna, 2010).