

COSMOLOGIES ACTUALS I L'ORIGEN DE L'UNIVERS

per Francesc NICOLAU

A algú pot semblar estrany que en una revista de Teologia s'inclogui un article de caire cosmològic. Però hi ha dos motius que creiem prou vàlids per a poder fer-ho. Per una banda, aquest resum que presentem exposa com veuen els homes de ciència, a partir de dades objectives, el començament i la constitució de l'univers, cosa que interessa evidentment la teologia de la creació del món, i per una altra banda ens dóna la notícia d'uns fets —amb les seves interpretacions científiques— que cal tenir presents a l'hora d'elaborar una teodicea que amb base sòlida exposi els arguments que a partir de les coses creades ens poden portar al coneixement del Creador. Ja sabem, és clar, que el simple fet de la contingència del món, fins i tot si existís des de sempre, ha portat grans pensadors a deduir-ne l'existència del Ser necessari, però, per molt vàlid que sigui aquest argument, no creiem que es pugui menysprear com a inútil el que s'obté del fet que el cosmos hagi tingut començament, si és que ens ho afirma la ciència amb base a les observacions. El que ens diuen, doncs, els científics actuals d'això és el que exposarem en aquest treball.

1. *Cosmologia d'Einstein*

La ciència actual anomena «cosmologia» qualsevol doctrina sobre la constitució física de l'univers pres com un tot. L'objecte principal de tota cosmologia és la resolució del «Problema cosmològic» que es podria formular així: «Per què l'univers es manté en equilibri de tal

manera que malgrat l'atracció newtoniana no s'aglutinen els astres ni després de mils de milions d'anys?»

Aquesta qüestió ja fou plantejada a començaments de segle i Einstein n'estudià la resposta: donant per vàlid el principi de Mach¹, que diu que la inèrcia d'un cos és el resultat de l'acció mútua de totes les masses de l'univers (és a dir: físicament és el mateix que balli una baldufa que el que ho faci tot l'univers en sentit contrari i la baldufa estigui quieta), afirmà que, en conseqüència, han d'ésser indistingibles un camp gravitacional i un moviment uniformement accelerat. Tot això ho exposà en el seu article sobre la Teoria de la Relativitat General publicat el 1915². Dos anys més tard hi afegí les «consideracions cosmològiques en la Relativitat General», on, partint de la hipòtesi que la distribució de la matèria en el cosmos sigui uniforme, establí una equació tensorial per a explicar el fet de l'equilibri de l'univers, com una nova «gravitació universal» que generalitzava en un altre nivell el que Newton havia enunciat sobre l'atracció dels cossos en l'espai. En aquesta equació va introduir una constant λ (la «constant cosmològica») necessària per a l'equilibri d'un univers estàtic.

2. Aportacions posteriors de l'Astronomia

Allò que Einstein havia pressuposat, que l'univers es manté igual a ell mateix en conjunt al llarg del temps, ben aviat resultà superat per les noves troballes dels astrònoms:

1. Cada vegada es veu més clar que les estrelles evolucionen i tenen una vida limitada: neixen del gas interestel·lar, concentren una massa més o menys gran i després l'espargeixen en forma de radiació³. Això ens diu que l'univers no és tan estàtic com hom creia.

1. Aquest principi fou enunciat per Ernst MACH (1838-1916) l'any 1883 en la seva obra *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt*.

2. L'article era *Zur allgemeinen Relativitätstheorie*, publicat en «Annalen der Physik» (1915), encara que se sol citar més la seva obra extensa, publicada l'any següent, *Die Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie*.

3. El 1920 Eddington ja avançà la idea que la font d'energia del sol i de les estrelles era l'energia nuclear, provinent de la fusió de l'hidrogen en àtoms d'elements més pesats, cosa que comportava un desgast i, per tant, una evolució de les estrelles. La hipòtesi d'Eddington no s'ha confirmat plenament fins molt més tard, però mentrestant s'hi afegien molts fets d'observació (les estrelles variables, les nanes

2. Ja s'ha pogut aclarir quina és la forma del nostre món estel·lar (el que ara anomenem la nostra Galàxia): no és cert que els estels estiguin uniformement repartits per l'espai, com molts encara creien a començaments de segle; no presenten una simetria esfèrica sinó que la Galàxia té forma de lentilla d'uns 100.000 anys-llum de diàmetre per uns 16.000 de gruixària al centre, i va aprimant-se cap a les vores; a l'indret on és el sol, a uns 30.000 anys-llum del centre, el gruix és de només 6.000 anys-llum⁴.

3. Més important és la descoberta de noves galàxies. L'astrònom nord-americà Edwin Hubble (1889-1935), durant la dècada 1920-29, investigant des de l'observatori de Mount Wilson les nebuloses que es troben, segons ell va comprovant, més enllà de la Galàxia, arriba a la conclusió que són conglomerats de milions d'estrelles⁵. Examinant la més clara, que és la 31 del catàleg de nebuloses de Messier, la de la constel·lació d'Andròmeda, aconsegueix, l'any 1923, d'identificar-hi una estrella variable cefeida⁶ i mesurar-ne el període de variació. Això li permetrà —aplicant la llei de Miss Leavitt que relaciona la magnitud absoluta d'un estel amb el seu període de variabilitat⁷— de calcular la distància d'aquella nebulosa: uns

blanques, les «noves» —particularment la «nova» de l'Àguila del 7 de juny de 1918, que pogué ésser estudiada directament, a diferència de les antigues de Tycho Brahe, de Kepler... que només es coneixien per referències—, el gas interestel·lar, descobert per Otto Struve el 1928, etc.) que portaren els astrònoms al convenciment de l'evolució estel·lar que hem descrit.

4. Ja a finals del segle XVIII, William Herschel (1738-1822) s'adonà que la densitat estel·lar augmentava a mida que hom s'acostava a la Via Làctia, cosa que indicava que no hi havia una distribució uniforme dels estels, i d'aquí pogué deduir una forma més aviat el·lipsoïdal del món estel·lar. Però qui va establir amb precisió la forma, i també les dimensions, del nostre univers d'estrelles fou Harlow Shapley (1885-1978) amb els seus treballs d'investigació de l'estructura de la Galàxia, portats a cap a partir del 1920.

5. És a l'any 1924 quan Hubble, que havia treballat amb el gran telescopi de 254 cm. d'obertura de Mount Wilson, comunica que ha arribat a la conclusió que hi ha «nebuloses» extragalàctiques (=exterior a la Galàxia), i que concretament ho és la gran nebulosa d'Andròmeda, en la qual ha pogut distingir estrelles individuals. L'any 1926 ja ha recensionat unes 600 «nebuloses» que no són nebuloses sinó agrupacions d'estels com la d'Andròmeda, i en presenta una classificació segons la seva forma.

6. S'anomenen «variables cefeïdes» aquelles estrelles que varien regularment la seva lluminositat en un període de temps relativament curt, que va des d'un dia i mig fins a uns dos anys. El nom els ve de la δ de la constel·lació de Cefeü, que és un estel (descobert per Goodricke el 1784) que en 5'4 dies passa alternativament de la magnitud 3'6 a la 4'4.

7. Llei publicada per aquesta astrònoma l'any 1913. Afirmar que hi ha una correlació entre la lluminositat intrínseca d'un estel variable i el seu període de variació: a més brillantor correspon un període més llarg. Miss Henrieta Leavitt (1868-1921) va arribar a aquesta conclusió estudiant sistemàticament centenars de

800.000 anys-llum, unes vuit vegades el diàmetre de la Galàxia. Com que el telescopi de Hubble va descobrir cada vegada més nebuloses semblants a la d'Andròmeda, la imatge de l'univers es va veient molt distinta de la que hom tenia deu anys abans. Aquestes nebuloses, a proposta de Shapley, d'ara endavant s'anomenaran «galàxies», per la seva semblança amb la Galàxia (que passarà a ésser la «nostra» galàxia, ara ja en minúscula).

4. Però no es van acabar aquí els descobriments de Hubble: a l'hora d'analitzar la llum que ens arriba de les galàxies llunyanes es troba amb la sorpresa que les més distants presenten un corriment de les seves ratlles espectrals cap al roig, la qual cosa vol dir que s'estan allunyant, en virtut del principi de Doppler-Fizeau⁸. Com que les més febles tenen més acusada aquesta desviació, sembla que haurem de dir que és proporcional a la distància a què es troben de nosaltres, i que s'aparten de nosaltres també amb una velocitat proporcional a la seva llunyania. La constant d'aquesta proporcionalitat rep el nom de «Constant de Hubble». Ara bé, si les més allunyades se'ns separen més de pressa vol dir que l'univers s'expandeix com un globus que s'infla; ja no es manté igual a ell mateix en el transcurs del temps.

variables cefeides del Petit Núvol de Magalhães (s'anomena així una galàxia de l'hemisferi sud que és resoluble en estrelles, per trobar-se molt pròxima; ara sabem que és a uns 200.000 anys-llum de nosaltres; el 1913 encara no se sabia que fos exterior a la Galàxia), les quals cefeides, a causa de les petites dimensions d'aquest «Núvol» (ara sabem que és d'uns 13.000 anys-llum de diàmetre), poden considerar-se equidistants del nostre punt de mira. Aquesta llei permet de conèixer la distància d'una cefeida si en sabem la lluminositat, però un cop obtingut, és clar, el factor de la proporcionalitat per medició directa de la distància d'una cefeida pròxima. Aquest factor no va obtenir-lo Miss Leavitt sinó Harlow Shapley a partir dels resultats a què Ejnar Hertzsprung (1873-1967) havia arribat per mitjans estadístics sobre les distàncies d'algunes cefeides, durant el mateix any 1913.

8. Enunciat per primera vegada per Christian Johann Doppler (1803-1853), afirma que si un cos en vibració és en moviment respecte d'un observador la freqüència de la vibració que aquest captarà serà més alta que en el punt de partida si el cos s'acosta, i més baixa si s'allunya. Això val per al so (que es fa més agut en apropar-se la font emissora i més greu en apartar-se), cosa que va comprovar Buys Ballot el 1845, i per a la llum (que es fa més blava si la font lluminosa ve cap a nosaltres, i més roja si se'n distancia), fenomen que fou experimentat per Armand Fizeau (1819-1896) l'any 1848. La importància d'aquest últim experiment féu que el principi prengué el nom de Fizeau a més del de Doppler. L'enrogiment d'un cos del qual no sabem el color exacte de partida (com és el cas de les galàxies) es pot posar de manifest analitzant-ne la llum en l'espectroscopi; les ratlles de l'espectre desviades cap al roig, en comptes d'ocupar el lloc habitual que tenen en el cas d'un llum quiet, demostren l'enrogiment de la font lluminosa i que, per tant, s'allunya.

Curiosament, mentre Hubble comença tot just les seves recerques, l'any 1922, Friedmann⁹ demostra que l'equació d'Einstein es pot fer més senzilla suprimint la «constant cosmològica», és a dir donant-li el valor zero, restant assegurat l'equilibri de l'univers i resolent el problema cosmològic si, de fet, el cosmos no és estàtic sinó en expansió; més encara, mostra que, l'equació einsteiniana era insostenible en la seva forma primera. Einstein accepta de bon grat la correcció de Friedmann, sobretot després de les troballes de Hubble, que tan oportunament corroboren la nova formulació. Per la seva banda un altre matemàtic astrònom, sir Arthur Eddington, demostrava, l'any 1930, que un univers estàtic, segons la primitiva concepció einsteiniana, era certament possible però inestable, tan inestable com un con posat a l'inrevés recolzat sobre el seu vèrtex¹⁰. Aquestes consideracions teòriques, corroborades per les observacions de Hubble, fan que l'expansió de l'univers acabi essent acceptada com una interpretació vàlida dels fets per la majoria dels científics.

3. *Naixement de les cosmogonies científiques*

Però tot seguit es planteja el problema: com i quan va començar aquest inflament del cosmos? Caldrà elaborar una cosmogonia que en doni raó. En aquest moment en el món de la ciència neix la inquietud d'una explicació científica de l'origen de l'univers. Per ordre cronològic la primera que sorgeix és la d'un sacerdot astrònom belga, Georges Edward Lemaître (1894-1966), que l'any 1927 ja dona a conèixer la hipòtesi de l'«ou còsmic» o «àtom primitiu»¹¹: hi va haver un temps zero en el qual es trobaven comprimides en una gegantina massa d'uns pocs anys-llum de diàmetre tota la matèria i

9. A. Friedmann era un matemàtic rus. Per la seva correcció de l'equació d'Einstein es pot considerar com l'iniciador de la teoria de l'univers en expansió. Per a tota aquesta qüestió vegi's, per exemple, l'edició castellana de l'obra de GAMOW, *La creació del Univers*, Madrid 1963, p. 47.

10. EDDINGTON (1882-1944) en la seva obra *The Expanding Universe* de 1933, exposa aquesta idea demostrada per ell matemàticament tres anys abans.

11. La primera exposició d'aquesta idea fou feta en unes conferències d'aquest any 1927. L'any 1933 publicava *Discussion sur l'évolution de l'Univers*, i el 1946 l'obra extensa a la qual cal recórrer per a conèixer l'elaboració de tot el seu pensament: *Hypothèse de l'atom primitif*.

tota l'energia de l'univers i va esclatar d'una manera violentíssima tot originant, els seus fragments, les actuals galàxies.

Aquesta teoria fou acollida entusiàsticament per l'astrònom rus-americà George Gamow (1904-68) i des de 1948 l'ha defensada apassionadament¹² completant-la i raonant-la amb noves consideracions: Gamow explica detalladament com degueren formar-se els elements químics que ara trobem dispersats pel cosmos, amb els percentatges de cada un, a partir de les condicions inicials en què es trobaven matèria i energia. La teoria de Gamow ja no se'n diu de l'«ou còsmic» sinó que és coneguda amb el nou nom que ell li donà de «Big Bang» (gran esclafit). També s'anomena teoria de l'«Univers en explosió». Aquell esquema inicial amb què ell descrivia el procés amb tot detall avui dia ja ha estat molt modificat pels seguidors de la teoria, però es manté encara fonamentalment la mateixa idea que ell exposà: durant els primers cinc minuts l'energia (és a dir els fotons) predomina sobre la matèria (protons, neutrons, electrons...). Entre els 5 i 30 minuts comença a formar-se deuteri i heli, i la matèria ja té més massa que l'energia. A continuació es van formant lentament, en poca quantitat, els altres elements. La condensació en protosupergalàxies i després protogalàxies no comença fins al cap de 250 milions d'anys. I les estrelles i planetes no es formen fins després d'uns 1.000 milions d'anys a partir de la gran explosió. Actualment els astrofísics seguidors de la teoria del «Big Bang» ja han mirat d'explicar el que va passar a partir dels 10^{-35} segons després de l'instant inicial. Diuen que només el que ocorregué durant aquella primera cent-mil-quintilionèsima part de segon se'ls escapa i no poden detallar¹³.

Ben aviat els professors Alpher i Bethe s'associaren a la teoria de Gamow¹⁴ i d'altres. Però, segons les dades de Hubble que es tenien

12. El primer article de GAMOW sobre el tema aparegué en la revista *Nature* 162 (1948) 680-82: *The Evolution of the Universe*. A part d'altres articles, l'exposició detallada de la seva teoria la féu en l'obra *The Creation of the Universe*, New York 1952. Se n'ha fet una traducció castellana, publicada per Espasa-Calpe: *La creació del Universo*, Madrid 1963.

13. John D. Barrow, d'Oxford, i Joseph Silk, de Berkeley, han publicat un article en el «Scientific American» sobre aquest tema. L'edició espanyola d'aquesta revista, «Investigación y Ciencia», el publica en el seu número 45, de juny de 1980, pp. 74-86: *Estructura del Universo primitivo*. En ell, donant per un fet l'expansió de l'univers, s'afirma que l'estructura en gran escala de l'univers és regular dins d'un 1 per 1000, i que hi ha motius per a creure que ho ha estat des dels 10^{-35} segons després de començar el Big Bang.

14. Per l'assonància dels noms d'aquests tres astrònoms amb les lletres α , β i γ algú va anomenar també «teoria alfabètica» la teoria del Big Bang.

el 1948 sobre distàncies de galàxies i la seva velocitat de recessió, calculant en marxa enrere l'edat de l'univers, resultava que només podia ser d'uns 2.000 milions d'anys a partir del Bing Bang i això estava en contradicció amb la geologia, que demostrava que el planeta Terra tenia més de 4.000 milions d'anys d'existència (4.600 diuen avui dia). La cosa, doncs, presentava una seriosa dificultat contra la teoria.

No és estrany, per això, que el mateix any 1948 en sortís una de nova: la de l'«Estat estacionari» o de «Creació contínua», ideada per Hermann Bondi, Thomas Gold i Fred Hoyle¹⁵. Segons aquests autors, cal partir del «Principi cosmològic» de Milne¹⁶ que diu: «L'univers és uniforme en tot l'espai», principi que, si prenem com a unitat no l'estrella (com s'havia fet abans) sinó la galàxia, es pot considerar comprovat experimentalment com a cert dins d'un marge d'error d'un mil·lèsim, i ampliar-lo fent-ne el «Principi cosmològic perfecte»: «L'univers és fonamentalment idèntic en l'espai i en el temps.» És a dir, no tan sols les vint o trenta galàxies més pròximes a la nostra fan un conjunt molt semblant i amb la mateixa densitat de matèria que un grup de vint o trenta galàxies que es trobin a milions d'anys-llum de nosaltres, sinó que també tot l'univers és igual ara, globalment, a com era fa milions d'anys. Ara bé, per compaginar això amb el fet de l'expansió de l'univers cal admetre que constantment la naturalesa crea nova matèria i així es manté la densitat global. Els càlculs donen que n'hi ha prou amb un mil·ligram per metre cúbic cada bilió d'anys, que és com dir un àtom per any en un milió de metres cúbics. La cosa, és clar, és poca, encara que, tenint en compte les dimensions de l'univers, doni uns 50.000 sols per segon (10^{32} tones de matèria). La principal raó que addueixen els seus autors a favor d'aquesta teoria és la seva «simplicitat estructural». I, amb tot i no ésser aquesta una motivació massa

15. Hermann Bondi (1919-...), Thomas Gold (1920-...) i Fred Hoyle (1915-...) són tres astrònoms anglesos. Foren els dos primers qui en un article conjunt publicaren la nova teoria que anomenaren del «steady state» en la revista «Monthly Notices», el 1948. Però Hoyle s'hi adherí tot seguit i tan fervorosament que de vegades se cita com a principal autor. El 1950 va donar una sèrie de conferències radiofòniques que es feren cèlebres i divulgaren la teoria en molts ambients. Bondi el 1952 publicava *Cosmology* i Hoyle el 1955 *Frontiers of Astronomy*, on detallen més extensament el seu pensament.

16. Edward Arthur MILNE (1896-1950), astrònom i matemàtic anglès, enuncia el seu principi en *Relativity, Gravitation and Structure of the Universe* de 1936.

convinent des del punt de vista lògic, va tenir alguns seguidors,¹⁷ que potser més que per la «simplicitat» foren atrets per la raó d'evitar l'anomenada «singularitat inicial», és a dir, el fet d'un començament de l'existència del cosmos.

4. *Noves descobertes dels astrònoms.*

Però quatre anys més tard, el 1952, hi hagué un congrés d'astronomia a Roma i el nord-americà Walter Baade (1893-1960), hi presentava una comunicació de gran transcendència per la cosmologia: analitzant les distintes classes d'estels que hi ha a la galàxia d'Andròmeda havia arribat a la conclusió que calia fer una distinció entre dues categories d'estrelles: les de la població I, de vida més curta, i les de la població II, de durada més llarga¹⁸, i que les variables cefeides que es feien servir per a mesurar les distàncies de les galàxies no corresponien a les de la població analitzada en la nostra galàxia. Això volia dir que, encara que era correcta la proporcionalitat entre magnitud absoluta i període de variabilitat descoberta per Miss Leavitt, no ho era el factor d'aquesta proporcionalitat, que havia d'ésser un altre, diferent del que es feia servir; calia multiplicar-lo almenys per 2'3, d'acord amb el que els corresponia per la població a què pertanyien. Aquest resultat resolvia un enigma que ja

17. Entre els quals podem citar: P. Jordan (que posa la hipòtesi que les constants fundamentals de la física variïn amb el temps; concretament la constant de la gravitació minvaria, provocant la separació de les galàxies, i en compensació augmentaria per la creació contínua la massa de l'univers), R. A. Lyttleton (que especula amb la possibilitat que la càrrega positiva del protó sigui lleugeríssimament superior a la negativa de l'electró, cosa que faria separar les galàxies i originaria el naixement de nova matèria entre elles; idea que també proposà H. Bondi), Spencer Jones (vegi's el seu article sobre el tema en «Theoria» 1, 1952-53, p. 106), i Jayant V. Narlikar (del qual parlarem més endavant). Bernard Lovell no el podem posar a la llista dels partidaris, però sí entre els qui diuen que no hi ha raons convincents ni per una banda ni per l'altra; són seves aquestes paraules: «Cap astrònom responsable no està realment preparat per a dir amb plena certesa quin és el tipus d'univers en què vivim» (en *Our Present Knowledge of the Universe*; traducció castellana: *Conocimiento actual del Universo*, Barcelona 1975).

18. Walter Baade va arribar a aquesta conclusió amb les observacions fetes des de Mount Wilson, sobretot durant les nits del 1942 en què la ciutat de Los Angeles era a les fosques per mor de la segona guerra mundial i el telescopi donava imatges més nítides. Va veure que les estrelles més brillants dels braços de l'espiral de la galàxia d'Andròmeda eren en general gegantes blavoses (del tipus espectral F), mentre que les del nucli eren rogenques (del tipus K). És a dir, on els estels estaven més separats abundaven els de vida curta (Població I) i en la regió en què es concentraven més dominaven els de vida llarga (Població II).

feia temps inquietava els astrònoms: amb l'escala usual totes les galàxies que s'anaven descobrint apareixien més petites que la nostra; per què aquest privilegi? Amb la nova regla de medicció demostrada per Baade calia multiplicar per 2'3 totes les distàncies i, en conseqüència, també tots els diàmetres, i ja resultaven d'una grandària semblant, unes més grans, d'altres més petites i la majoria gairebé iguals a la nostra galàxia, tal com era d'esperar. La galàxia d'Andròmeda, concretament, ja no es trobava a 800.000 anys-llum de nosaltres sinó a prop de dos milions i era de les mateixes dimensions que la nostra. Ara bé, això també feia que la principal dificultat contra el Big Bang de només 2.000 milions d'anys d'edat per a l'univers desaparegués automàticament: amb la nova escala ja eren possibles 5.000 milions, i més i tot, cosa que estava d'acord amb la geologia.— Diguem-hi, encara, que mediccions posteriors més afinades han millorat els resultats de Baade i avui dia els partidaris del Big Bang, fets els càlculs pertinents, ens diuen que l'edat de l'univers és d'uns 15.000 milions d'anys i fins i tot podria arribar a uns 20.000. Cosa que ens diu que el sistema solar i la Terra, que es pot donar com a científicament segur que tenen 4.600 milions d'anys d'existència, amb un error inferior a ± 100 milions d'anys¹⁹, s'originaren quan ja havien passat més de 10.000 milions d'anys del començ de l'univers.

Resolta, doncs, aquella dificultat que hi havia contra el Big Bang, la teoria va veure augmentar el seu nombre d'adeptes. I, per una altra banda, noves descobertes anaven minant i desacreditant la teoria de la «Creació contínua» fins a fer-la insostenible:

1. L'astrònom Martin Ryle (1918-...) pels volts de 1950 va començar la investigació de com es troben distribuïdes les «radiofonts» en l'espai²⁰. És clar que si l'univers fos homogeni en l'espai i el temps la distribució dels tals objectes en el cosmos també seria homogènia globalment. Això significaria que la mitjana aritmètica d'intensitat minvaria proporcionalment al quadrat de la llunyania i el seu nombre augmentaria en la mateixa proporció. Doncs bé, els

19. S'arribà a aquesta conclusió en el Simposium de Geologia de Glasgow de l'any 1964, confrontant totes les mediccions obtingudes fins aleshores per mètodes diversos, sobretot per mitjans radiactius.

20. Amb el nom de «radiofonts» designen els astrònoms els objectes celestes que emeten ones de ràdio captables pels nostres radiotelescopis.

primers resultats de Ryle publicats el 1956²¹ donaven que la rapidesa amb què augmentava la quantitat de radiofonts en minvant la intensitat era més gran que el que corresponia a aquella proporció; és a dir, l'observació donava que en retrocedir en el temps²² creixia el nombre de galàxies radiants. Això ens diu que l'univers no és igual a ell mateix en el temps. Aquests resultats ocasionaren una discussió, que es féu cèlebre, entre Ryle i Fred Hoyle, el gran defensor de l'estat estacionari, el qual impugnava la tesi d'aquell amb l'argument de no ésser encara prou complet aquell recompte de les radiofonts. I, efectivament, en aquell moment tenia raó, però la recerca de radiofonts s'ha anat prosseguint i els anys següents han confirmat totalment la tesi de Martin Ryle.

2. Més important encara fou el descobriment dels «quasars». El primer es descobrí l'any 1963. Ja es coneixien unes radiofonts molt especials que emetien una intensitat de radiació molt notable però que en identificar-les òpticament no corresponien a galàxies sinó a objectes celestes molt compactes. De moment es van considerar «radioestrelles». Però l'astrònom americà Marteen Schmidt, considerant que aquells astres havien d'ésser interessants, va voler estudiar-ne l'espectre. I es trobà amb una gran sorpresa: les ratlles espectrals d'aquelles «radioestrelles» no s'assemblaven en res als casos normals; eren inidentificables. Això passava el 1960. Tres anys van passar sense que sabés interpretar aquells espectres, fins que analitzant el de l'objecte anomenat 3C273 hi va trobar la clau de l'enigma: era un espectre normal però amb un enorme corriments cap al roig. Interpretat segons el principi de Doppler-Fizeau com la manifestació de la velocitat d'allunyament, resultava que s'apartava de nosaltres a 40.000 km. per segon, i aplicant-hi la llei de Hubble de la propor-

21. Vegi's la traducció castellana de *Cosmology Now*, Londres 1973, de diversos autors, que porta per títol *Cosmología, actualidad y perspectivas*, Barcelona 1977, a la p. 85, on Dennis Sciama explica els resultats de Ryle. Aquesta obra que acabem de citar la recomanem a aquell qui vulgui assabentar-se dels diversos corrents de la cosmologia científica actual. El pròleg és de sir Bertrand Lovell i també hi ha un article de Martin Ryle sobre la utilitat de la radioastronomia per l'estudi de l'estructura de l'univers.

22. Tenint en compte que l'única informació que ens arriba dels objectes del cel és d'ones electromagnètiques, siguin lluminoses o ones-ràdio, tant se val, i totes elles viatgen per l'espai a la mateixa velocitat, que és la de la llum, és clar que tot el que podem saber d'un astre que es troba a n anys-llum de distància és tal com era ara fa exactament n anys. Si una galàxia és a 500 milions d'anys-llum de distància tot el que ens n'arriba és informació de com era fa 500 milions d'anys. Per això retrocedir en l'espai és retrocedir en el temps.

cionalitat entre la distància i la velocitat de recessió havia de trobar-se a uns 2.000 milions d'anys-llum de nosaltres. Considerant que les galàxies més allunyades descobertes fins aleshores no es trobaven a més de 500 milions d'anys-llum, el descobriment ens feia fer un salt enorme en l'espai i, per tant, en el temps. Per altra banda la brillantor intrínseca d'aquell «astre» havia d'ésser de més d'un centenar de galàxies normals. Tot això era tan nou i extraordinari que molts astrònoms van mirar de trobar-hi una altra explicació, per exemple una causa desconeguda que provoqués l'enrogiment de l'astre. Però l'anàlisi de nous objectes semblants amb espectres del mateix tipus ha acabat per fer acceptar la primera interpretació com a vàlida per part de gairebé tots els astrofísics. Aquests extraordinaris objectes ara s'anomenen «quasars», nom inventat per Hong-Yee-Chiu, contracció de «quasi-stel·lar objects» i s'interpreten com unes galàxies molt especials, brillantíssimes i compactes que constitueixen un fenomen transitori que ha tingut el seu màxim fa uns 3.000 milions d'anys, no havent-hi hagut ni un abans ni un després en què es repetís, i que passat l'estat de quasar es converteixen en galàxies normals. El màxim ocorregué fa uns 3.000 milions d'anys perquè és a la distància de 3.000 milions d'anys-llum on es troben més quasars, dels quals, en conseqüència, ens arriba l'esclat que va sortir d'ells ara fa els dits 3.000 milions d'anys. Però, encara que no tants, també se'n troben de més propers (si bé tant que arribin a només 500 milions d'anys-llum cap ni un) i de més llunyans. El més distant que és el 0Q172 se'ns allunya a 270.000 km. per segon segons sembla (el 90% de la velocitat de la llum), i això dona una distància de 18.000 milions d'anys-llum, si és que la proporcionalitat establerta per Hubble segueix essent certa a aquestes distàncies; però més aviat s'inclinen a pensar els astrònoms que la «constant» de Hubble no és constant, ja que si retrocedim en el temps ens trobarem que al començament, poc després de la gran explosió, amb tota probabilitat els astres corrien allunyant-se més de pressa. És possible, doncs, que el 0Q172 no estigui tan lluny de nosaltres. Si fos a 18.000 milions d'anys-llum ja podríem assegurar que, com a mínim, l'univers té 18.000 milions d'anys d'existència, i els càlculs donen que no en té gaire més de 15.000 milions. Sigui el que es vulgui d'aquesta qüestió, el cert és que el parell de centenars de quasars descoberts fins ara ens demostren que l'univers no ha estat sempre igual. El conjunt de les galàxies ha variat amb el temps i això és incompatible amb l'estat estacionari.

3. L'any 1965 es feia encara un nou descobriment a favor del Big Bang i, de retruc, en contra de l'estat estacionari. Gamow ja havia calculat que si la seva teoria era certa hi havia d'haver en el cosmos una «radiació de fons», com un eco de la gran explosió, que distribuïda uniformement per tot l'espai havia d'ésser com la irradiació d'un cos negre a uns 10°K (és a dir, 10 graus de temperatura sobre el zero absolut); és el que li donaven els càlculs. Però Robert Dicke²³, afinant més amb les dades posteriors, arribà a la conclusió que aquesta radiació havia d'ésser la corresponent a uns 3°K . Doncs bé, l'any 1965 com deïem, Arno Penzias i Robert Wilson, astrònoms americans de la Bell Telephone, observant el cel amb una antena Horn, en una longitud d'ona de 7 cm., trobaren uns sorollets paràsits i persistents que no hi havia manera d'evitar i que venien homogèniament de totes les regions de l'espai. Van haver de concloure que allò no era pas defecte de l'aparell sinó una realitat exterior. Analitzant-ho es veié que tenia el màxim a la longitud d'ona d'un mil·límetre, cosa que corresponia a la que emetria un cos negre a 3°K (medicions més acurades posteriors han donat l'ona corresponent a $2'65^{\circ}\text{K}$). Amb això s'obtenia una brillant confirmació de la teoria del Big Bang, que ni el mateix Gamow havia somniat. Penzias i Wilson reberen el premi Nobel de Física. Aquest eco del gran esclafit inicial demostrava que l'univers no era estacionari.

5. *La nova teoria de J. V. Narlikar*

Aquestes tres raons van fer perdre partidaris a la teoria de la creació contínua. Fins el mateix Fred Hoyle, el seu més entusiasta defensor, acabà per abandonar-la. No s'havia trobat cap fet experimental que la pogués recolzar i la gratuïtat de suposar que pugui anar sorgint matèria del no-res era ja per si sola una dificultat contra la teoria. Ja l'any 1960 escrivia J. Fouchet²⁴: «És sobretot la hipòtesi fonamental de la teoria de la creació contínua la que es fa difícil d'admetre: el naixement espontani de núvols de neutrons als abismes quan la densitat atòmica baixa per sota d'un cert grau. Cap teoria física no ve fins ara a recolzar la creació de la matèria a partir

23. També és Dennis Sciama qui en l'o. c. a la nota 21 ens dona les dades d'això, pp. 86-92.

24. En *La nature* 88 (1960), p. 36.

d'un no-res energètic o d'algun subespai imaginat per les necessitats de la causa.»

Així les coses, l'any 1975 l'astrofísic J. V. Narlikar de Bombay, que sempre havia estat adepte de la teoria de l'estat estacionari, l'ha volguda renovar amb un enfocament totalment diferent²⁵. Ja no serà la de la «creació contínua». Narlikar pren com a base el principi de Mach segons el qual la massa d'un cos és en relació amb la distribució de la matèria de tot l'univers. Aquest havia estat també el punt de partida d'Einstein. Ara bé, aquesta relació, diu, és una influència que augmenta amb el temps, és a dir la massa de totes les partícules creix a mida que el temps passa. Amb això les «constants» físiques ja no són constants, en contra del que pressuposa la teoria del Big Bang que afirma (gratuïtament, diu) que l'univers és isotrop. No hi ha expansió del cosmos, tot està globalment quiet; la llum que ens arriba de les galàxies llunyanes és més roja perquè és la corresponent a partícules més velles i, per tant, de massa més petita, que fa que no siguin tan energètiques, i això es tradueix en un enrogiment de la llum que emeten. Aleshores les dimensions de l'univers són invariables amb el temps. És una altra manera d'ésser estacionari. A aquesta original teoria s'ha unit també Fred Hoyle,²⁶ després de renunciar a la de la creació contínua; però no sabem de cap més astrònom que s'hagi fet partidari de la nova cosmologia ideada per Narlikar.

6. *Postura marginal d'alguns astrònoms*

És cert, doncs, que la teoria del Big Bang és la concepció científica més admesa avui dia per a explicar l'origen i l'estructura de l'univers. Però no seriem complets si deixéssim de citar una altra postura que es dona en alguns astrònoms: com que la ciència és positiva per naturalesa i no pot fer afirmacions que no siguin conseqüència immediata de les observacions, cal dir, afirmen, que l'elaboració de la teoria del Big Bang és construir un mite científic, però no fer autèntica ciència, ja que no és conseqüència immediata de les observacions el que hagi començat l'expansió de l'univers a partir

25. No hem pogut llegir directament l'article de Jayant V. Narlikar on exposa aquesta nova teoria, però en tenim el resum a l'obra de Pierre KOHLER, *La Terre et les astres*, Ed. Hachette, París 1979, p. 272.

26. També a l'o. c. de Pierre Kohler, p. 272.

d'una gran explosió. Com a representant d'aquesta tendència podem posar Hannes Alfvén (1908-...), suec, que diu que la cosmologia del Big Bang només pot justificar-se afegint a les dades experimentals un cert nombre d'hipòtesis ad hoc, i, per tant, és de la mateixa categoria, des de determinats punts de vista fonamentals, que l'exposició del sistema de Ptolomeu, que també necessitava per a ajustar-se a les observacions un gran nombre d'epicles construïts ad hoc. «El Big Bang és un mite adornat amb fórmules matemàtiques molt elaborades i això el fa més respectable, però no necessàriament més veritable».²⁷ Donada la poca aprovació que ha tingut aquesta postura entre els científics, creiem que no cal parlar-ne més.

7. Teoria de la «fatiga de la llum»

Recentment, però, s'ha plantejat un interrogant que cal que mencionem, per la seva importància: és que és l'única possible la interpretació de l'enrogiment de la llum de les galàxies llunyanes pel principi de Doppler-Fizeau? ¿No hi cabria també una quasi «fatiga de la llum» a través dels espais, és a dir, una pèrdua d'energia que li fes allargar la seva longitud d'ona? En aquest segon cas l'univers podria ésser estàtic, sense expansió. De fet, ja Hubble va suggerir aquesta altra possibilitat, mes hom la deixà de banda per totalment improbable. Però ara l'han ressuscitada tres autors, els francesos Jean-Claude Pecker i Jean-Pierre Vigier i l'australià Alan Roberts²⁸. Com que l'argumentació d'aquests astrofísics tenia una certa consis-

27. H. ALFVÉN va exposar aquesta idea en *La Cosmologie: mythe ou science?*, dins *La Recherche* 69 (juillet-août 1976), i va fer ploure de tot arreu cartes de disconformitat al director de la revista. Ja en el número següent, de setembre, a la secció de «Correspondance» hi ha una nota que diu: «L'article de Hannes Alfvén paru dans la Recherche de juillet-août n. 69, p. 610, a suscité de nombreuses réactions parmi nos lecteurs. Nous publions quelques extraits de l'abondant courrier qu'il nous a valu.» I a continuació transcriu les missives de cinc autors: Jacques Lequeux (de l'observatori de Meudon), Thierry Montmerle, J. Demaret (de l'Institut d'Astrofísica de la Universitat de Liège), Jacques Crovisier (de l'observatori de Meudon) i Jean Marie Souriau (matemàtic de la Universitat de Provence). Un d'ells, J. Demaret, fa notar que Alfvén cau en una «contradiction flagrante». I encara va seguir la controvèrsia en el n.º 72, de novembre, hi ha la carta de Jean-Michel Maldamé, dominic de Montpellier.- Curiosament l'editorial Salvat dins la col·lecció «Grandes Temas» en el n. 94, *Origen y evolución del Universo*, Barcelona 1973, el científic a qui entrevista és Hannes Alfvén, que manifesta les mateixes idees que després exposaria en el controvertit article de «La Recherche». Creiem que hauria estat millor d'interviuar un altre astrònom més representatiu de les tendències científiques actuals.

28. En els seus articles apareguts l'any 1972 en «C. R. Académie des Sciences» n. 274, p. 762 i en «Nature» n. 273, p. 227.

tència, hom l'ha tinguda en compte, donant lloc a un diàleg entre científics. La revista francesa «Science et Avenir» ha dedicat tres articles a aquesta qüestió²⁹, el tercer dels quals fa referència a les ponències i conclusions dels col·loquis sobre el tema «Décalages spectraux vers le rouge et expansion de l'univers» que la Unió Astronòmica Internacional i el C.E.R.N. francès van organitzar del 6 al 9 de setembre de 1976. A aquesta reunió ens diu l'articulista que Jean-Claude Pecker i el seu equip, prenent peu de les observacions fetes pels astrònoms americans de Lick, V. C. Rubin, V. K. Ford i J. S. Rubin, que el 1973 donaren a conèixer que havien observat que els corriments cap al roig de les ratlles de l'espectre eren diferents a igual distància si la llum de les més roges havia travessat regions més riques en materials còsmics (la qual cosa ara s'anomena «efecte Rubin-Ford»), presentaren la comunicació no d'un model nou de l'univers sinó d'un mode nou d'interacció en el nivell subatòmic, que porta a suposar l'existència d'una partícula encara desconeguda: el bosó φ ³⁰, de massa molt feble, de càrrega elèctrica nul·la i capaç d'interaccionar amb els fotons de la llum, fent-los perdre part de la seva energia. Aquest bosó φ seria, és clar, més abundós on hi hagués més matèria i això explicaria l'efecte Rubin-Ford. El cronista ens diu que el bosó φ va semblar als físics del col·loqui molt dur d'empassar, un artifici creat per a les necessitats de la causa defensada pels ponents i que posava en dubte nocions bàsiques ben establertes, com és la naturalesa de la llum; i acaba dient que avui dia la majoria dels astrònoms resta indefectiblement favorable al model cosmològic del Big Bang, encara que «el procés de l'univers tot just ha començat». I per una altra banda, hi afegim nosaltres, la teoria de la fatiga de la llum, com diu Pierre Kohler³¹, no és pas incompatible forçosament amb un model de l'univers en expansió. Aquest model té altres raons que l'avalen: la inestabilitat del model estàtic segons l'equació einsteiniana, la radiació de fons... Potser l'única cosa que caldria modificar si es demostrés l'existència del bosó φ fóra l'edat de l'univers.

29. Són els següents: *Le poids de la lumière*, en el n. 338, abril 1975, de Pierre de Latil, *Plus expansion pour l'univers*, n. 350, abril 1976, també de Pierre de Latil, i *Le procès de l'Univers*, n. 357, novembre 1976, de François de Closets et Marie Farge.

30. Un bosó és una partícula subatòmica. És un mesó de spin enter que satisfà l'equació de Bose-Einstein, i d'aquí li ve el nom.

31. A l'o. c. p. 271.

8. *Univers obert o tancat?*

Admesa, doncs, com a més probable la cosmologia de la gran explosió, es presenta tot naturalment el següent problema: l'expansió de l'univers continuarà indefinidament o tindrà un límit? Per a escatir això n'hi hauria prou de calcular amb precisió les velocitats de recessió de les galàxies i quasars i veure si la velocitat d'expansió del conjunt minva amb el temps o no, és a dir si les galàxies acabaran aturant-se o bé no pararan mai de separar-se cada cop més. En el primer cas hom diu que l'univers és tancat i en el segon cas obert. Si fos tancat un cop s'aturés l'expansió començaria a actuar la gravetat i vindria aleshores una contracció que acabaria fent un monstruós «forat negre» de tota la matèria existent i això seria la fi. O bé un tornar a començar si aquesta enorme concentració de matèria, estant en les mateixes condicions inicials del primer Big Bang, n'originés un altre de semblant, o idèntic. En aquesta segona hipòtesi l'univers fóra com un acordió còsmic que faria una pulsació cada 30.000 milions d'anys, o els que fossin. Se'n diu teoria de «l'univers polsant» la que sosté això que acabem de dir.

Ara bé, és que és possible de dilucidar si el cosmos és obert o tancat? Com hem dit, n'hi hauria prou de calcular la velocitat de recessió de les galàxies i quasars en funció de la distància a què es troben, que és el mateix que dir en funció del temps d'existència que tenen. Però aquí ens trobem amb un cercle viciós: les distàncies només les podem calcular per la velocitat a què s'allunyen; no es pot calcular per separat primer la distància i després la velocitat. La proporcionalitat establerta per Hubble es deduïa de les galàxies més properes en les quals era possible de calcular la distància independentment de la velocitat de recessió del període de variació de les cefeïdes que era possible de veure-hi, cosa comprovada i revisada posteriorment i que cal retenir com a exacta dins el marge d'error propi de tota observació experimental; però la qüestió és per a les més llunyanes i sobretot per als quasars: a mida que ens allunyem en l'espai seguirà essent vàlida la proporcionalitat? Com saber si és constant la «constant» de Hubble? Si ho fos l'acceleració seria nul·la i, en mantenir-se constant la velocitat d'expansió, l'univers fóra obert. Però si trobéssim que l'acceleració és negativa fóra tancat. Si fos factible de destriar alguna cefeïda en galàxies llunyanes potser ho aclariríem, però això, ara com ara, no es veu pas possible. El mètode que s'ha començat a posar en pràctica és un altre: l'estudi

estadístic dels quasars per veure quina és la seva grandària mitjana i després, també estadísticament, calcular la distància dels més allunyats per la seva magnitud aparent. Ara bé, per a fer això ben fet i treure'n resultats fiables cal tenir a l'abast un nombre molt gran de quasars. Un parell de centenars, evidentment, no són suficients. Per això els resultats obtinguts fins ara no aclareixen la cosa; el seu marge d'error és tan ampli que l'acceleració de l'expansió que en resulta oscil·la entre un valor positiu i un de negatiu: tant pot ésser nul·la, com positiva, com negativa. Però els astrònoms no es desanimen i pensen que no trigaran pas gaire a obtenir una informació més precisa. El quasar 0Q172, citat abans, té, segons sembla, una velocitat de fuga de 270.000 km. per segon, i si admetéssim la proporcionalitat de Hubble vàlida per a ell hauríem de dir que es troba a 18.000 milions d'anys-llum de distància. Com que això sembla excessiu, una interpretació possible fóra que va a més velocitat de la que li pertoca i no és tan lluny de nosaltres; en aquest cas hauríem de dir que l'univers és obert. Però això no es pot afirmar: una flor no fa estiu i, a més, hi ha un marge d'error en el càlcul de la seva velocitat. La qüestió, doncs, de si l'univers és obert o tancat és encara una qüestió oberta; ni tan sols no es pot dir que és més probable.

9. Conclusió

Com a resum, doncs, de tot el que hem exposat, podem dir que la cosmologia de més acceptació entre els científics actuals ens porta a una concepció d'un univers que ha tingut un inici que s'escapa totalment a una anàlisi científica, però que després ha anat evolucionant segons unes lleis que es van descobrir, sense poder saber encara com arribarà al seu final.

El lector haurà observat que la mentalitat que els astrònoms en general (deixem Alfvén a part) palesen en aquestes investigacions que hem ressenyat no és, des del punt de vista filosòfic, la mateixa que dominava en la majoria dels homes de ciència del segle passat i anteriors. De fet avui dia es parla d'una autèntica «metamorfosi de la ciència»³² i aquesta metamorfosi ja comença a afectar també els cosmòlegs; en ells l'epistemologia subjacent, com hem vist, és realista, admet el valor del coneixement de base empírica però no és

32. L'expressió és d'Ylya Prigogin i Isabelle Stengers, en la seva obra *La nouvelle Alliance*, Ed. Gallimard, Poitiers 1981. Recomanem la lectura d'aquest llibre a qui s'interessi per l'epistemologia dels científics actuals.

un pur empirisme, i han bandejat l'experiència idealitzada: no n'hi ha prou amb un llenguatge matemàtic per a descriure la naturalesa de l'univers; cal donar compte de tots els fets observats i ordenar-los, sense, però, idealitzar-los. Un pur esquema determinista (com havia imaginat Laplace) no és vàlid segons els científics d'avui dia.

Ara bé, amb aquesta epistemologia, tan poc condicionada per apriorismes, arriben, com hem vist, a la conclusió que el món ha tingut començament i que aquest començament ja no pot ésser objecte de l'estudi científic. Per això no és estrany que, per exemple, Pierre Kohler³³, després d'afirmar que la teoria del Big Bang és la més acceptada avui dia pels astrònoms com a explicació vàlida dels fets, ens digui: «Mais nul ne peut expliquer l'origine du 'coup de pouce' qui déclencha l'explosion originelle, en dehors bien entendu de toute considération religieuse.» I amb el valor general que aquest testimoni posseeix creiem que en tenim prou per a l'objectiu que perseguíem amb aquest article.

Francesc NICOLAU
Passatge Santa Amèlia, C
BARCELONA-17

33. A l'o. c., p. 273.

Summary

This article presents briefly the current scientific theories about the origin and physical formation of the Universe. The equation conceived by Einstein to give the answer to the cosmological problem had to be modified in 1920 because of the find by Hubble of the «red shift» of the spectrum rays of distant galaxies, in that the obvious interpretation of this experimental fact was that the Universe was expanding. This gave rise to the birth of the theory about the origin of the Cosmos called the «Cosmic egg» (Lemaître) or the «Big Bang» (Gamow), followed by a multitude of authors, among whom one finds the majority of contemporary ones. According to this theory the Universe comes from the initial explosion of a great concentration of matter and energy. Notwithstanding some authors (Bondi, Gold, Hoyle), put forward another interpretation called the «steady state» or continuous creation. This theory (in the light of new data) is, today, practically abandoned. Leaving out the sceptical attitude of a few who declare that the «red shift» does not allow cogitation about the origin of the Universe; and the very unlikely interpretation of the same theory as a «tiring of the light» that, crossing through space, would lose energy, one can conclude that modern science considers that the most probable explanation is that 15.000 million years ago there was a zero instant (initial singularity), in which occurred the great explosion which produced the present universe, although nobody can say scientifically what provoked the explosion.