

L'ORIGEN I EVOLUCIÓ DE L'UNIVERS ... EN POCS MINUTS

La visió que ara tenim de l'Univers va començar a prendre cos de manera precisa durant els anys 1920 al 30 del segle passat. Val a dir que en aquella època l'Univers conegut consistia només en la nostra galàxia, la Via Làctia i, a més, quan Albert EINSTEIN va construir, al començament dels '10 i partint de principis físics molt bàsics, la Teoria de la Relativitat General (RG), els científics (ell inclòs) estaven fermament convençuts que l'Univers era estacionari. Estàtic, en la nomenclatura més correcta però poc intuïtiva, ja que això no volia dir que els cossos celestis no es movien, sinó que els astres, en els seus moviment i distribució sempre haurien estat tal i com les veiem ara, des de sempre i per sempre. Einstein es va adonar que aquest fet no era compatible amb les seves equacions, car un univers així no pot ser estable: col·lapsa inevitablement degut a l'atracció de la gravetat. Això el va portar de cap fins que va haver d'introduir-hi, a contracor, un terme extra, l'ara famosa *constant cosmològica*, que no tenia cap explicació física aparent. “*Aquesta ha estat l'animalada més gran que he fet a la meva vida*”, confessà anys després, per raons que veurem. L'equació més coneguda d'Einstein (i pot ser la més famosa que s'hagi escrit mai), $E = mc^2$, correspon a la seva Teoria de la Relativitat Especial (RE) i estableix l'equivalència entre massa i energia, a través d'un factor de conversió que és la velocitat de la llum al quadrat. Però aquí ens referim a les equacions de camp d'Einstein (una sola, si es fa servir el llenguatge tensorial):

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu} R + g_{\mu\nu} \Lambda = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

que publicà el 1915. Aquesta equació unifica d'una manera precisa la Física i la Matemàtica, establint que la curvatura R de l'espai-temps (concepte purament matemàtic) és proporcional al tensor d'energia-impuls T , que conté l'energia-massa (ja unificades en la RE). Els factors de proporcionalitat són la constant universal de Newton, G , la velocitat de la llum a la quarta potencia i els números 8 i π , mentre que Λ és la constant cosmològica i g la mètrica del propi espai-temps.

Aviat Karl SCHWARSCHILD (carta a Einstein de desembre de 1915) va trobar una solució de les equacions d'Einstein, que correspon al que ara es coneix com a *forat negre*. I Alexander FRIEDMANN, el 1922, va trobar-ne una altra, d'allò més interessant, perquè descriu tot l'univers. La seva mort prematura li va impedir copsar que, interpretada físicament, llur solució corresponia a un univers en expansió. Aquest honor va correspondre al físic i religiós belga George LEMAÎTRE qui, desconexor de la troballa de Friedmann, va redescobrir la mateixa solució mentre treballava al M.I.T. (*Massachusetts Institute of Technology*) en la seva segona tesi doctoral, que va presentar el 1925. Lemaître visità Vesto SLIPHER, al *Lowell Observatory* d'Arizona, i també Edwin HUBBLE, a *Mount Wilson*, els quals a meitats dels anys '20 havien ja acumulat prou dades que indicaven nítidament una desviació envers el roig dels espectres de les nebuloses més llunyanes (HUBBLE acabava de demostrar, l'any 1924, que hi havia altres galàxies, com ara Andròmeda, més enllà de la nostra). Aquest corriments cap al roig es podia interpretar, d'una manera global, no ja com a moviments propis de les galàxies sinó com una expansió de l'Univers mateix, de l'espai-temps. Això encaixava, com anell al dit, amb la solució de FRIEDMANN (redescoberta per LEMAÎTRE) de les equacions d'Einstein. LEMAÎTRE va concloure que, sens dubte, tot quadrava (teoria i observacions) i va intentar convèncer EINSTEIN, durant un congrés a Brussel·les l'any 1927, que la seva RG (la d'Einstein) no necessitava cap constant cosmològica i que les seves equacions (d'Einstein) descriuen un univers en expansió, en complet acord amb les observacions astronòmiques més recents, però *no ho va aconseguir!* EINSTEIN li replicà: “*no hi trobo cap error a les seves deduccions matemàtiques, però la interpretació que en fa, la seva intuïció física, és abominable*”. Aquesta és una formidable lliçó per tots nosaltres: ens diu, d'una banda, que fins i tot els genis poden no reconèixer la realitat, encara que se'ls posi al davant, que no són ni molt menys perfectes o infal·libles. Per altra, el fet que al propi EINSTEIN -el creador de la teoria de la RG, de l'espai-temps- li costés tant d'admetre que era aquest mateix espai-temps (el propi Univers) el que s'estava engrandint, ens indica que no resulta estrany que als altres no ens sigui fàcil de copsar l'enorme profunditat d'aquesta idea. Un parell d'anys més tard EINSTEIN ho va entendre, s'adonà del greu error que havia comès i pronuncià la tan famosa frase que hem esmentat abans. A partir d'aleshores va defensar la interpretació de LEMAÎTRE i contribuï a la seva popularitat.

Seguint el raonament, ara mirant enrere en el temps, Lemaître va lògicament concloure que en èpoques passades l'Univers era molt més petit i, tirant encara més enrere, que va tenir un origen. Pot

entendre's que l'Església, que tantes dificultats havia posat a la ciència de Galileo, no en tingués cap en admetre el descobriment de Lemaître: la teoria del *Big Bang* que aquest proposà. Aquest nom, que ha esdevingut tan popular, se li va ocórrer de fet a Fred Hoyle, en un programa de ràdio de la BBC el 28 de març de 1949. Hoyle, Thomas Gold i Hermann Bondi acabaven de proposar, l'any 1948, la seva teoria de l'*estat estacionari* (*Steady State*), que involucrava un camp de creació de matèria i energia (*C-field*), procés que tindria lloc constantment en amples regions de l'univers i a 'cost zero', car l'energia positiva de la matèria i radiació quedaria compensada per l'energia negativa que té el potencial gravitatori que s'origina al mateix temps (aquesta física és comuna a la de les teories inflacionàries que veurem després). En el programa de la BBC Hoyle volia defensar la seva teoria contraposant-la a la de Lemaître i, per fer-se entendre pels oients (i en part també intentant ridiculitzar-la), va dir que aquesta última descrivia l'origen com un 'gran petard' (*Big Bang*). No podia imaginar fins a quin punt aquest nom es faria popular per a definir la teoria ara acceptada sobre l'origen de l'univers (ben al contrari del que Hoyle pretenia!). L'any 1964, mentre Arno PENZIAS i Robert WILSON feien mesures d'alta precisió amb una antena als Bell Labs de New Jersey, no van aconseguir eliminar un soroll molt fluix però persistent i que era exactament el mateix en totes les direccions, nit i dia. Simultàniament, a Princeton, a només 60 km, Dicke, Peebles i Wilkinson escriuen un article sobre la teoria de com havia de ser la radiació de microones que ens hauria d'arribar del *Big Bang*. Va ser Burke, professor del MIT, qui va parlar a Penzias del treball de Peebles. Entre tots van lligar caps i se'n van adonar que acabaven de detectar l'ona expansiva del propi *Big Bang*! No cal dir que la seva descoberta els va merèixer el Premi Nobel i va descartar de manera concloent la teoria de l'estat estacionari.

La teoria original del *Big Bang* va haver de ser modificada a principis dels '80 a fi de resoldre unes quantes discrepàncies serioses que tenia en relació amb les observacions més acurades de l'Univers, sobretot en la descripció del primer segon a partir del seu origen. S'hi va incorporar una etapa d'*inflació* (Allan GUTH, Andrei LINDE, Andreas ALBRECHT, Paul STEINHARDT, Alexei STAROBINSKY, etc.), en la qual l'expansió va ser increïblement gran (l'Univers passà de tenir el volum d'un pèsol al de l'actual Via Làctia) durant un instant de temps brevíssim. Convé deixar ben clar que no és correcta la idea que tota la matèria i energia de l'Univers actual estava concentrada en el volum d'un pèsol: el procés d'inflació implica una creació colossal d'energia i matèria a expenses del potencial gravitatori generat al mateix temps (al qual li correspon en RG una energia negativa, com ja hem indicat abans). Les lleis fonamentals de la física, com la de conservació de l'energia, no s'oposen doncs a que un procés d'aquesta mena pugui tenir lloc. Finalment va quedar configurat així el model FLRW (de Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker, aquests darrers van demostrar que no hi podia haver cap altra solució que la ideada pels dos primers, si l'univers és, com s'observa, homogeni i isòtrop en tots els seus punts, a gran escala).

Tot i els avenços hem, però, de conuiu encara amb el problema de la *matèria fosca*, postulada per primera vegada per Fritz Zwicky el 1934: una quantitat ingent de matèria (deu vegades superior a la visible) que sabem que existeix degut als seus efectes gravitatoris (anomalies en les corbes de rotació de les galàxies, efectes de lents gravitatòries) però que no sabem encara de què està feta, ni per què no la podem veure. Així, doncs, resumint, el cosmos no és estàtic i va tenir un origen realment espectacular fa 13.730 milions d'anys (amb un possible error de només l'1%), d'acord amb les observacions més recents del satèl·lit WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*). Val a dir que totes les observacions astronòmiques fetes darrerament han confirmat sense cap dubte i amb precisió creixent la nova teoria del *Big Bang*.

Observacions astronòmiques molt recents, dutes a terme per dos equips d'una trentena de científics cada un (Perlmutter *et al.*, Riess *et al.*, 1998) indiquen que encara hi ha més: l'expansió de l'Univers s'*accelera*. Per tal que això passi, hi ha d'haver una força (com ja sabem des de Galileo GALILEI, s. XVI i Isaac NEWTON, s. XVII), i a nivell còsmic. La qüestió és: ¿quina és la força capaç de produir aquesta acceleració? Com en el cas de la matèria fosca, ningú no ho sap encara, tot i que hi ha diverses candidates, d'aquí que se l'hagi batejat com l'*energia fosca*'. Caldria introduir, de bell nou, la famosa constant cosmològica d'Einstein, que avui sabem que podria originar-se en les fluctuacions del buit quàntic dels camps d'interacció a nivell cosmològic, però en aquest punt hi ha fortes desavinences entre teoria i observacions. També és possible que les equacions d'Einstein, la pròpia RG, hagin de ser de fet modificades a escales grans (*teories f(R)* o *d'escalars-tensors*). I l'última resposta podria procedir de les *teories de cordes*, en la seva versió de la tan misteriosa *teoria M* (*Mestra* o *Mare*). O bé d'alguna teoria encara per descobrir, completament nova. Sumant els nostres desconeixements de la matèria i energia fosques, podem dir que més del 95% del nostre Univers és, a hores d'ara, '*terra ignota*'. Però la Ciència ha de seguir, i va bé que deixem algun problema als nostres fills i nétes.

Molt més verda és encara l'explicació de l'instant mateix de la creació de l'Univers. Per a Stephen HAWKING i Roger PENROSE aquest instant és (o ho era fins fa poc) una *singularitat matemàtica*, romanent, doncs, fora de l'abast de qualsevol interpretació física. Però hi ha nous models en què ha deixat de ser-ho: combinant la inflació i les fluctuacions quàntiques d'un estat primigeni, en el sí del qual una *espurna* (camp escalar, *instantó* de HAWKING i TUROK) seria capaç -a cost energètic zero- d'iniciar un procés d'inflació que amplificaria extraordinàriament les petitíssimes fluctuacions (escala de PLANCK) del *buit quàntic*, que són presents degut al principi d'incertesa de Heisenberg (un dels pilars de la Física Quàntica), per donar així origen a les fluctuacions que observem clarament en el fons de radiació còsmica (CMB). Aquests són els mapes de l'Univers més antics que posseïm fins ara; daten de quan tenia tan sols 370.000 anys. Abans d'això el cosmos, molt calent, era una sopa fosca de quarks, gluons i partícules elementals, impenetrable als fotons, fins que la temperatura va anar baixant i se situà per sota del llindar d'ionització de l'àtom més petit, el d'hidrogen. Aquest precipità, de sobte, a gran escala i així, per primer cop, la ben primera llum de l'alba còsmica envaí tot l'Univers. I encara ara ens arriba i la podem veure amb tota nitidesa amb els ulls curiosos de satèl·lits com COBE, WMAP i PLANCK, que l'han transformada en imatges (http://map.gsfc.nasa.gov/media/101080/101080_7yrFullSky_WMAP_12_80W.png), cada cop més ben definides, del mapa més antic de l'Univers, del que he parlat. Finalment, ha quedat definit així el que s'anomena model cosmològic estàndard o Λ CDM (model de *Cold Dark Matter*, o matèria fosca freda, amb constant cosmològica, Λ).

A fi d'endinsar-nos més enllà -eventualment fins a l'instant zero- necessitarem però uns altres ulls, capaçs de captar la informació de les ones gravitatòries primordials, que esperem poder processar d'ací a una o dues dècades (BBO, DECIGO). Amb això s'obtindran fotos d'un Univers més jove i previsiblement es confirmarà la inflació. Però el que resulta molt difícil amb la Física actual, si no impossible, a menys que invoquem el *principi antròpic* (que en la seva versió forta afirma que les propietats de l'univers, les constants universal, han de ser tals que permetin la vida intel·ligent, la nostra presència com a observadors), és desenvolupar un model d'origen i evolució d'*un únic* Univers com el nostre. Les teories més avançades (que ja he esmentat) produeixen *multiversos*, és a dir, innumbrables col·leccions d'universos, de totes les mides i propietats imaginables, un dels quals, per pur atzar, seria el nostre. Però això ultrapassa la frontera de la mateixa Física per caure més aviat en els dominis de la ciència ficció. Ja que, en no poder interactuar amb aquests universos paral·lels, molts físics opinen que això deixa de ser Física, que fins i tot se li està fent mal a la Física de debò amb aquestes teories: a la observable i verificable al laboratori, a la que té capacitat de predicció contrastable. Són molts els teòrics que creuen que la resposta es trobarà, tard o d'hora, dins de la teoria de cordes (o M), la "*teoria del tot*". Però un error que s'ha repetit massa sovint al llarg de la Història de la Ciència és el d'haver cregut que hom ja tenia a les mans la teoria final, que mancava només perfilar-ne alguns aspectes i tapar-ne algun forat, per deixar-la acabada i bonica. Jo penso, altrament, que sorgirà una nova teoria, ben diferent de les que tenim ara, i tant o més revolucionària del que ho van ser la Relativitat General i la Física Quàntica ara fa cent anys.

Emili Elizalde (7.III.2011)