

# L'origen i l'evolució de l'univers (el primer segon)

**Miguel Ángel Sanchis-Lozano**

Departament de Física Teòrica, IFIC, Centre mixt CSIC · Universitat de València

**Nicolás Sanchis-Gual**

Instituto Superior Técnico · CENTRA · Universidade de Lisboa

*Què estava fent Déu abans de crear l'Univers?*

*Estava preparant l'infern per a aquells que feren aquesta pregunta.*

Del llibre *Història del temps*, Stephen Hawking

El paradigma cosmològic actual suposa que l'origen de l'univers i el principi de l'espai i del temps tingueren lloc a partir d'una gran explosió inicial, el ja famós *Big Bang*. Introduint aquesta hipòtesi cosmològica es pot explicar, d'una manera elegant i simple, un gran nombre d'observacions astronòmiques i astrofísiques, la qual cosa és un èxit científic. Ara bé, el suposat instant inicial de "tot" no està lliure de problemes. En efecte, l'origen de l'univers constitueix una singularitat del teixit espai-temporal, la qual cosa significa que no sabem com tractar eixe moment matemàticament i els nostres models físics perden la seua validesa. Es com programar la divisió  $1/x$  en una calculadora com una fórmula i donar-li el valor  $x=0$ . Què eixirà? ERROR. Podem acostar-nos més i més a  $x=0$ , però mai no aplegarem al valor nul sense error. Matemàticament és una singularitat, un pol d'ordre un.

Per això, es considera que per entendre millor el mateix *Big Bang* i les primeres etapes de l'univers primigeni serà precís, en primer lloc, integrar els dos grans paradigmes de la física actual en una única teoria. Per una banda, la Relativitat General que governa el món a gran escala i explica molt bé la gravetat dels cossos, el moviment dels astres i la dinàmica celeste. Per l'altra banda la Mecànica Quàntica que governa el món a xicoteta escala i explica l'estabilitat dels àtoms i les seues reaccions químiques, la radioactivitat i el funcionament del telèfon mòbil, entre altres.

Al principi de l'univers, eixes dues escales diferenciades de la física actual (corresponents al macro i microcosmos) es confonen car tot estava embolicat en un espai extremadament reduït.

Ara bé, durant un segle ambdues teories (relativitat i quàntica) s'han considerat com a irreconciliables. Malgrat que hi ha propostes per aconseguir una formulació consistent d'una gravetat quàntica (com la teoria de cordes, o la teoria quàntica de bucles), el camí sembla encara llarg i no exempt de problemes. L'estudi dels forats negres, on les condicions extremes de la matèria es tornen a donar, podria ésser de gran utilitat en esta qüestió.

Abans de començar, cal ressaltar la brevetat de l'època de l'univers (molt primitiu) que anem a analitzar en aquest article. No obstant això, podem diferenciar tres eres o etapes dins del primer segon després de la Gran Explosió: a) l'era de Planck, b) l'era de la Gran Unificació, i finalment, c) la inflació còsmica seguida de l'anomenat "recalfament" i domini de la matèria.

## El període de Planck

Aquesta era, la més primitiva i desconeguda de l'univers, s'estén des de l'instant zero (singularitat inicial del *Big Bang*) fins el temps de **Planck**, que és de l'ordre de  $10^{-44}$  segons.

Este temps està donat per l'anomenada constant de Planck,  $h$ , d'un valor molt petit que va deduir este gran científic a l'estudiar l'emissió de radiació tèrmica pels cossos calents, al principi del segle XX. La constant de Planck fica un límit entre física quàntica i clàssica, d'una manera semblant a com la velocitat de la llum permet distingir la física newtoniana de la física einsteiniana de la relativitat especial.

Certament,  $10^{-44}$  segons és un interval de temps inconcebiblement menut si el comparem amb les nostres escales temporals, mesurades amb rellotges macroscòpics fins i tot atòmics amb precisions del nano-segon o menys. Però, qui sap si el mateix concepte de temps perd qualsevol significació per a ordenar esdeveniments com nosaltres fem quan utilitzem el temps? Llavors el mateix concepte de temps i la idea de microcausalitat deixen de tindre cap sentit.

Es pensa que en aquest moment la gravetat era tan intensa com ho podien ser les altres interaccions fonamentals.

## El període de la gran unificació

Quan l'univers estava eixint de l'era de Planck, les interaccions forta i electro-dèbil van continuar unificades durant un brevíssim període de temps. Eixa etapa és coneguda com a l'època de la Gran Unificació i es va prologar fins als  $10^{-36}$  segons posteriors al *Big Bang*. De nou,



una fracció de temps inimaginablement xicoteta en la nostra ment però amb les seues característiques pròpies.

L'univers continuava enfredant-se com a conseqüència de l'expansió seguint el *Big Bang*. Al final d'este període, quan la temperatura va decreixer suficientment, les interaccions fonamentals (a banda de la gravitació que ja s'havia separat de les altres) es diferenciaren, adquirint cadascuna una molt distinta intensitat. Per exemple, la interacció forta és molt més forta que l'electromagnètica, i moltíssim més forta que la gravetat. Es creu també que al llarg d'aquesta període es varen produir les condicions per a explicar l'excés de matèria sobre l'antimatèria que es crearà al final del període anomenat inflació i que estudiem a continuació. Eixe "triomf" de la matèria s'ha prolongat fins a l'univers actual, i la antimatèria és excepcional perquè s'aniquila en quant es troba amb matèria.

Una vegada acabada eixa transició de fase diferenciant les forces entre elles, si l'univers haguera continuat expandint-se al mateix ritme com abans, el nostre món actual seria molt diferent del que coneixem. Així, les observacions astronòmiques i astrofísiques acumulades al llarg de molts anys indiquen que l'univers actual és, de mitjana i des de un punt de vist geomètric, pràcticament pla. Naturalment estem referint-nos a la curvatura de l'espai-temps en tot l'univers a banda de les pertorbacions creades en les proximitats dels cossos degudes a les seues masses, com per exemple el Sol. És a dir, no s'aplica de cap manera a la ridícula idea de que la Terra es plana (conspiranoics terra-planistes)!

Aquest conjunt de fets experimentals observats a l'univers (homogeneïtat, curvatura quasi plana) no es pot explicar fàcilment sense suposar que, en acabant l'era de la Gran Unificació, es va produir un esdeveniment extraordinari, un "terratrèmol" espai-temporal a escala còsmica que donarà pas a la següent era de l'univers encara primitiu.

## El període de la inflació

L'anomenada inflació còsmica de l'univers primitiu va ser proposada en 1980 per **Alan Guth** en primer lloc, i per **Andrei Linde** un poc després, per tal d'explicar la sorprenent homogeneïtat i isotropia de l'univers vist hui en dia. A més, l'estudi detallat del fons còsmic de microones, emeses al cap de 380 000 anys després del *Big Bang*, també corroborà eixa uniformitat de l'univers observat des de la nostra Terra en qualsevol direcció del cel. El nom d'inflació recorda, intencionadament, el fenomen econòmic pel qual el valor dinerari de les coses s'incrementa, malauradament a voltes sense control. En el cas cosmològic, el ritme de creixement de l'univers primitiu va ser extraordinàriament ultraràpid, passant de la mida d'un àtom al d'una taronja en un no res ( $10^{-33}$  s) si ho comparem amb l'edat de l'univers 13 800 milions d'anys!

En efecte, es suposa que l'univers va experimentar una expansió exponencial durant un breu

## L'origen de l'univers

constitueix una singularitat

del teixit espai-temporal,

la qual cosa significa que

no sabem com tractar eixe

moment matemàticament

i els nostres models físics

perden la seua validesa.

instant de temps (de nou, tot és molt breu però les seues conseqüències assoleixen tota l'evolució posterior de l'univers conegut). La hipòtesi de la inflació és l'explicació més senzilla de la homogeneïtat observada a escala còsmica.

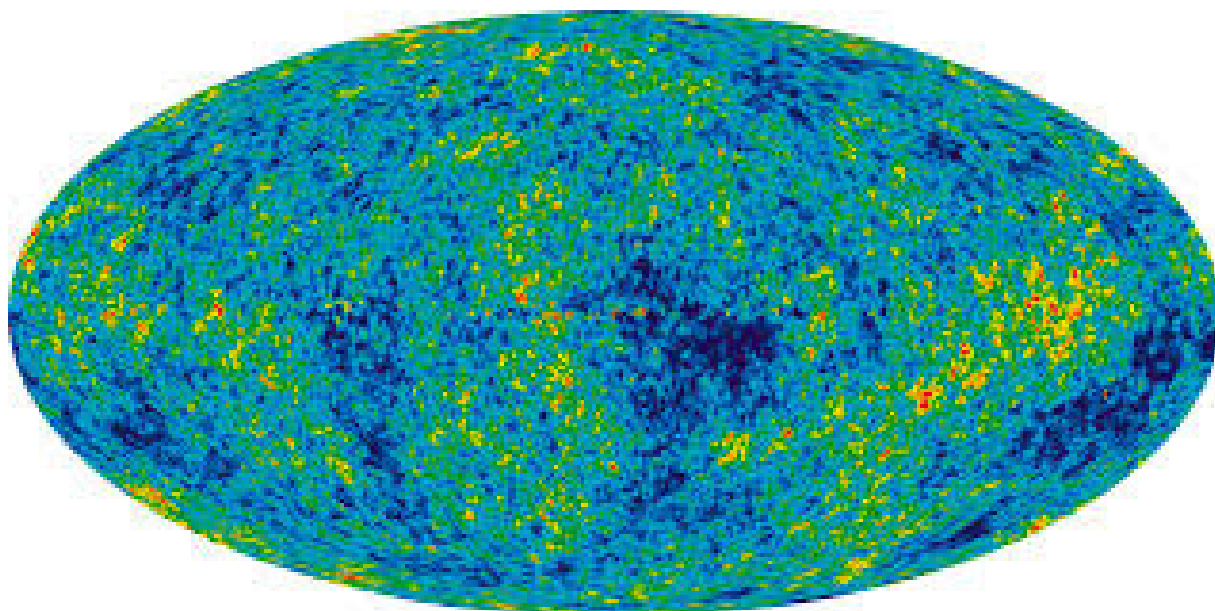
Podem trobar una analogia de l'efecte de la inflació amb el ràpid creixement d'un fruita como potser una pruna. Amb aigua i temperatura suficients, la pruna al créixer s'unfla fent que la seua pell siga llisa i uniforme. És a dir, la «llavor» de l'univers primitiu al desenvolupar-se d'eixa manera increïblement ràpida també allisà qualsevol irregularitat inicial. En termes més científics, les regions actuals de l'univers, prou allunyades unes de les altres, estigueren connectades causalment en el passat remot, gràcies a la inflació còsmica.

El camp de forces responsable de l'expansió inflacionària de l'univers rep un nom: l'inflató que seria com un "cos" del bosó de **Higgs**, perquè tots dos tenen característiques similars i omplien el buit de tot l'univers. Al contrari del Higgs que encara «treballa» hui en dia, donant massa a les partícules com l'electró, l'inflató només va actuar durant una fracció minúscula de temps, expandint l'univers a costa de l'energia del buit (el buit físic pot contenir energia emmagatzemada!). Una vegada es va esgotar eixa energia acumulada al buit (que paradoxalment va refredar vertiginosament l'univers en aquell període) l'expansió inflacionària es va aturar. Una nova etapa es ficà en marxa: el recalfament pel qual l'energia cinètica disponible es va utilitzar en crear partícules (quarks i electrons) així com radiació (fotons), distribuïts uniformement en tot l'espai d'aquell univers, del qual som hereus.

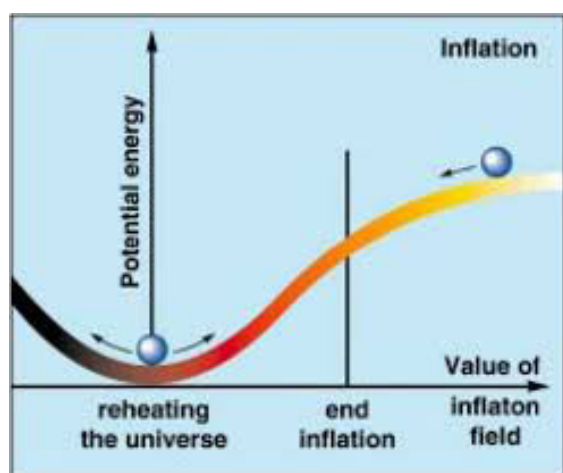
Al final d'aquesta era l'inflató, que omplia tot el buit de l'univers, va començar a oscil·lar al voltant del buit físic definitiu (el nostre actual, suposem) generant matèria i radiació. Malgrat els esforços teòrics que proporcionen certes condicions necessàries com havíem comen-



Per entendre millor el *Big Bang* i les primeres etapes de l'univers primigeni serà precís, en primer lloc, integrar els dos grans paradigmes de la física actual en una única teoria.



Fons Còsmic de Microones (*Cosmic Microwave Background*) observat pel satèl·lit Planck. Els diferents colors assenyalen diferències de temperatura actuals (roig més calent, blau més fred) però són de l'ordre  $1/100\,000$  Kelvin. Eixe fons va ser emès fa vora 13 400 milions d'anys (és a dir, 380 000 anys després del *Big Bang*) i ha estat «bambant» per tot l'univers fins ara. Proporciona una informació valuosa sobre l'univers primitiu just després de la formació d'àtoms, com una instantània del passat.



Simple analogia de la inflació de l'univers segons Linde. La boleta representa l'inflató que rellisca «lentament» per un pendent que representa la seua energia potencial en el buit al principi del període inflacionari. Al final del recorregut i una vegada està en el buit vertader (el mínim d'energia potencial) oscil·la al seu voltant creant partícules i radiació. És a dir, es forma un univers calent i ple de matèria i radiació que s'expandirà de nou però a un ritme molt més «tranquil».

tat en l'era de la Gran Unificació, el procés físic responsable d'eixa asimetria matèria-antimatèria generada en el recalament encara és un misteri i un repte per a la ciència explicar-ho.

A més, les partícules elementals, com els quarks i els electrons, que encara no tenien massa i viatjaven a la velocitat de la llum, l'adquiriren segons un procés físic degut al camp de Higgs. Aquest procés s'ha estudiat al LHC del CERN, a Ginebra, portant al descobriment del famós bosó de Higgs. Una bilionèsima de segon ( $10^{-12}$  s) després del *Big Bang* les partícules elementals ja eren com les coneixem, però encara no s'havien format ni protons ni neutrons i molt menys àtoms com l'hidrogen o l'heli.

Amb una expansió a un ritme moltíssim més moderat que durant la inflació, l'univers seguí evolucionant en les etapes següents, molt més llargues comparades amb l'època primitiva estudiada. Així, quan la temperatura baixà els quarks formaran els protons i els neutrons (nucleosíntesi primigènica) a partir del primer segon després del *Big Bang*.

Parafrasejant al cèlebre polític **Winston Churchill**: mai tants milions d'anys van deure tant a tan poques fraccions de segon.

Però això ho deixem per a l'article següent.