

FÒSSILS COSMOLÒGICS

El conegut paleoantropòleg Juan Luis Arsuaga parla dels fòssils com “d'aquells sorprenents viatgers que arriben a nosaltres des de la profunditat del temps geològic”. L'estudi dels fòssils ha permès adquirir uns coneixements molt precisos sobre l'origen de l'espècie humana. Esbrinar el passat és una tasca apassionant i encara més si el que es vol conèixer és l'origen de l'home, de la vida o de l'univers. Possiblement el *fòssil cosmològic* que més informació ens proporciona sobre l'origen de l'univers és la radiació de fons de microones. Parafrasejant Arsuaga diríem que aquesta radiació és una sorprenent viatgera que arriba a nosaltres des de la profunditat del temps còsmic.

El descobriment de la radiació de fons de microones, el varen fer –un poc per casualitat– l'any 1965 els radioastrònoms americans Arno Penzias i Robert Wilson. Aquesta troballa va constituir l'esperó definitiu per a l'acceptació general de la teoria de la gran explosió (Big Bang) com a paradigma cosmològic. L'existència d'aquesta radiació és una de les prediccions que fa la teoria, tal i com va demostrar George Gamow a les acaballes dels anys cinquanta.

Situem-nos 380.000 anys després de la Gran Explosió, l'univers es troba a una temperatura d'uns 3.000 graus Kelvin i té una grandària 1.100 vegades menor que l'actual. En aquest moment es produeix un fenomen conegut com a “recombinació”, durant el qual es formen els primers àtoms estables del primer element químic de la taula periòdica, l'hidrogen. La matèria, abans d'aquest moment, es trobava ionitzada, en un estat que anomenem plasma, en equilibri tèrmic amb la radiació, de manera que els protons i els electrons xocaven contínuament amb uns fotons molt energètics. L'univers era, doncs, opac, els fotons es trobaven confinats en aquesta sopa primordial i no podien escapar per a viatjar lliurement. Un símil ens il·lustra la situació: imaginem-nos dins d'una boira densa, la llum és dispersada amb molta eficiència per l'aigua en suspensió i la nostra visió queda bloquejada. Quan desapareix la boira i l'atmosfera esdevé transparent, la llum no troba obstacles i ens permet veure l'horitzó. Com a conseqüència de l'expansió de l'univers, 380.000 anys després del Big Bang, la densitat i temperatura de l'univers ha davallat suficientment perquè els protons puguin captar els electrons, formen àtoms estables i els fotons puguin viatjar lliurement: l'univers esdevé transparent. Diguem que la radiació provinent d'aquest període va sortir de la superfície de la darrera dispersió. L'univers continuarà

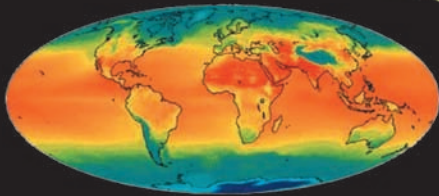
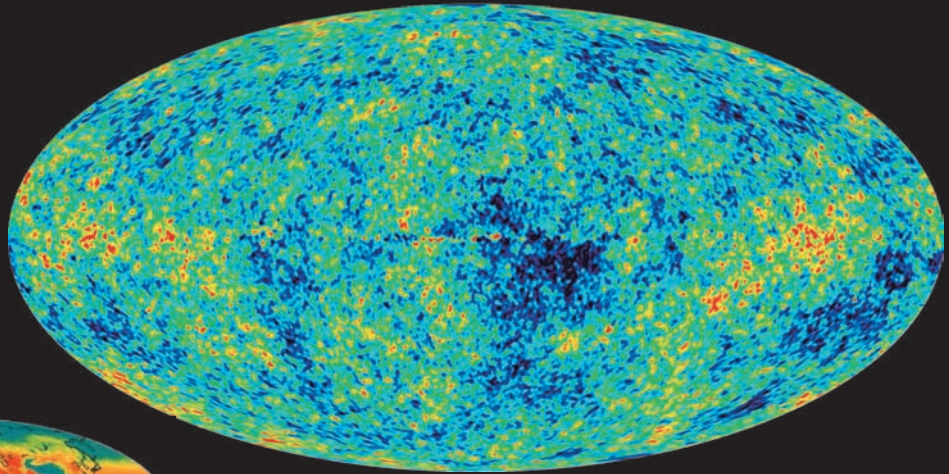
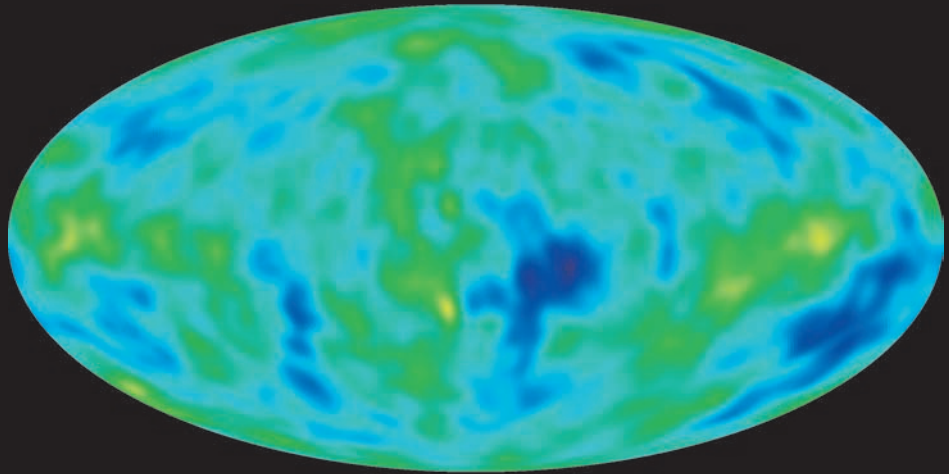
expandint-se i refredant-se, la temperatura d'aquesta radiació anirà minvant. La temperatura és proporcional a la freqüència, en minvar la temperatura, també ho fa la freqüència, i òbviament, la longitud d'ona augmenta. Penzias i Wilson detectaren aquella radiació amb longitud d'ona de mil·límetres, en la regió de l'espectre electromagnètic de les microones.

La teoria prediu una forma molt particular per a la corba –anomenada espectre– que ens proporciona la intensitat de la radiació en funció de la longitud d'ona. L'espectre de la radiació de fons de microones correspon –d'una manera gairebé perfecta– a allò que els físics anomenen un cos negre (un cos idealitzat que absorbeix tota la radiació que li arriba sense reflectir-ne cap). La radiació emesa per un cos negre depèn exclusivament de la seua temperatura. El satèl·lit de la NASA COBE (*Cosmic Background Explorer*), llançat l'any 1989, va comprovar amb una precisió sense precedents que la radiació de fons de microones corresponia a la d'un cos negre a temperatura de 2.725 K.

Una altra de les característiques més destacables de la radiació de fons de microones és la seua uniformitat. Aquesta radiació es detecta avui gairebé a la mateixa temperatura en totes les direccions. Diguem que té una distribució isòtropa. La uniformitat abona la interpretació cosmològica del seu origen, ja que si la radiació procedira de galàxies o altres fonts distribuïdes en l'espai, no podria pas ser tan isòtropa. Però l'homogeneïtat no és totalment perfecta: podem mesurar petites fluctuacions de temperatura si observem en direccions diferents. Aquest descobriment també el va fer el satèl·lit COBE.

Recentment, un nou satèl·lit americà, WMAP (*Wilkinson Map Anisotropy Probe*) ha fet un mapa de la radiació de fons amb molta més precisió. En la imatge podem veure el mapa de la superfície de la darrera dispersió realitzat per COBE i per WMAP. Els diferents colors ens mostren les regions on la temperatura de la radiació és lleugerament superior (cap al blau) o lleugerament inferior (cap al roig) de la temperatura mitjana, 2.725 K. Les diferències entre unes regions i altres no arriben a la meitat d'una mil·lèsima de grau. La imatge de WMAP té molta més resolució que la que va realitzar el seu predecessor, el COBE. WMAP ha pogut observar, amb un detall sense precedents, la radiació de fons de microones provinent de totes les direccions i fer un mapa de tot el cel. L'oval que veiem és una projecció de l'esfera celest com les que acostumem a fer amb la superff-

A la dreta, els mapes de les anisotropies de la radiació de fons de microones realitzats pels satèl·lits COBE i WMAP. Les estructures detectades pels dos satèl·lits, mesurant la temperatura de la radiació de fons, són les mateixes, però WMAP ho ha fet amb molta més resolució. (Cortesia de la NASA/WMAP Science Team.)



A l'esquerra, les diferents temperatures sobre la superfície de la Terra durant el mes de juny de 1992. La projecció del globus terrestre és la mateixa que s'ha utilitzat en els mapes de radiació per projectar l'esfera celest. (Cortesia de la NASA/WMAP Science Team.)

cie de la Terra: la imatge de la figura petita n'és un exemple. El mapa ens mostra la temperatura mitjana per al mes de juny de 1992. Com podem veure, les diferències entre l'Antàrtida i les zones tropicals són de l'ordre de 100 graus centígrads, és a dir, la diferència màxima de la temperatura entre els diferents indrets de la Terra (anisotropies) són 250.000 vegades més grans que la diferència màxima de la temperatura de la radiació de fons en direccions diferents. Malgrat ser tan petites, aquestes diferències són l'empremta de l'estructura còsmica que observem avui, ja que són conseqüència de les inhomogeneïtats en l'agrupament inicial de la matèria que, per efecte gravitatori, creixeran amb el pas del temps còsmic. L'anàlisi d'aquestes anisotropies –el fòssil

cosmològic– ha permès determinar amb una precisió extraordinària que l'univers té una edat d'uns 13.700 milions d'anys. Junt amb altres observacions cosmològiques, com ara les supernoves distants, la distribució de matèria en els cúmuls de galàxies, l'estructura a gran escala de l'univers traçada pels grans mapes de galàxies o l'abundància dels elements lleugers, les dades de WMAP han contribuït de manera notable a determinar els valors dels paràmetres que configuren el model cosmològic estàndard i del quals continuarem parlant des d'aquestes planes.

VICENT J. MARTÍNEZ
*Director de l'Observatori Astronòmic
 de la Universitat de València*