

# IMAGINACIÓ I CIÈNCIA: UN BINOMI INSEPARABLE

## ENTITATS INDETECTABLES PERÒ ESSENCIALS PER ALS ASTRÒNOMS DEL PASSAT I DEL PRESENT

Vicent J. Martínez i Virginia Trimble

«Be not the first by whom the new are tried,  
Nor yet the last to leave the old aside»  
ALEXANDER POPE, *Essay on Criticism*

Al llarg de la història de l'astronomia, diferents pensadors, filòsofs i científics han postulat l'existència d'entitats que, tot i no ser visibles o detectables en la seua època, o potser mai, eren, no obstant això, necessàries per a mantenir l'estabilitat del cosmos, tal com ells ho veien i ho entenien. Podien ser entitats l'existència de les quals explicara, o si més no justificara, les observacions astronòmiques del moment. N'hem identificat algunes, des de l'antiguitat fins als nostres dies. Ací les expliquem juntament amb alguns exemples d'altres ciències. En molts casos, el pas del temps va mostrar que aquests postulats eren erronis i calgué abandonar les hipòtesis o creences que els sostenien. En altres casos, les entitats postulades van ser finalment descobertes, i aquests descobriments van constituir moments estel·lars de la ciència.

### ■ VELS MITES: PER QUÈ NO CAU EL CEL SOBRE ELS NOSTRES CAPS?

En quasi totes les antigues mitologies es postulava l'existència de quelcom o d'algú encarregat de separar els cels de la Terra. Per als egipcis, Shu (l'aire) mantenia Nut (el cel) per damunt de Geb (la Terra). Hi ha versions semblants en les mitologies babilònica o xinesa. En aquesta última, el déu Pan-ku, ajudat per una tortuga i alguns animals mitològics (un au Fènix, un dragó i un qilin) separa la Terra del cel unes quantes desenes de milers de quilòmetres.

En el Gènesi no hi ha una entitat semblant, va ser el mateix Creador qui va posar cada cosa en el seu lloc –inclosos el cel i la Terra– al primer intent.

En la mitologia grega que hem après des de la infància i que explica com sorgeixen les constel·lacions a partir de les relacions entre els déus i entre aquests i els humans, és rellevant, en el context que ens ocupa, el paper d'Atles, condemnat per Zeus a sostenir els pilars dels cels.

«ELS COSMÒLEGS MODERNS  
POSTULEN DES DE FA  
DÈCADES L'EXISTÈNCIA  
DE MATÈRIA FOSCA,  
IMPRESINDIBLE PER A  
EXPLICAR L'ESTABILITAT  
DELS CÚMULS DE GALÀXIES  
O LES VELOCITATS DE  
ROTACIÓ DELS ESTELS EN  
LES GALÀXIES ESPIRALS»

### ■ ESFERES CRISTAL·LINES

Abandonant els mites i entrant ja en explicacions més racionals, començarem per recordar Eudoxe, qui en el segle IV aC va postular l'existència d'esferes –transparentes o cristal·lines– centrades en la Terra per a explicar els moviments aparents del Sol, la Lluna, els planetes i els estels. Aristòtil, que era deixeble de Plató i mestre d'Alexandre el Gran, va presentar un sistema del món amb esferes concèntriques, en la darrera de les

quals se situaven els estels fixos. Els cels serien immutables i els astres que els poblen estarien fets de quinta essència, un element nou que va necessitar postular per tal de dotar la regió supralunar d'un material constituït diferent dels quatre terrenals que segons Empèdocles eren la base de tot el que observa: l'aire, el foc, l'aigua i la terra. La cosmologia grega va tenir un desenvolupament espectacular en l'època hel·lenística de la mà d'Aristarc, Eratòstenes, Apol·loni i Hiparc, entre altres. Una autèntica revolució científica –encara que oblidada– es va produir en aquells segles, com sosté el físic italià Lluigi Russo (n. 1944). Aquesta cosmologia va assolir una versió definitiva amb Ptolomeu en el segle II dC. Va postular l'existència d'entitats geomètriques

A l'esquerra, partícules de matèria fosca en la simulació cosmològica Bolshoi.



Versió en color del gravat que apareix en l'obra de Camille Flammarion *L'Atmosphère: Météorologie Populaire* (París, 1888) que evoca la passió de la humanitat per desvelar els misteris del cosmos.

que es fan imprescindibles per a explicar els moviments observats dels cossos celestes –en particular el moviment retrògrad dels planetes– en un sistema del món geocèntric: els planetes es movien sobre petites esferes que rebien el nom d'*epicles*, els centres de les quals, al seu torn, giraven entorn d'una esfera major, anomenada *deferent*. Aquesta podia estar centrada en la Terra o, eventualment, en un punt excèntric anomenat *equant*, respecte del qual el centre de l'*epicle* seguia un moviment aparent circular i uniforme.

Aquest sistema perduraria fins al segle XVI, en part perquè no hi havia alternativa, però també perquè va ser incorporat a la doctrina de l'església catòlica per Tomàs d'Aquino (1225-1274) en el s. XIII. Per exemple, Georg Peurbach (1423-1461) considerava que les esferes ptolemaïques eren sòlides

i per tant no podien ser travessades per altres cossos. Tampoc es va posar en dubte la seua existència amb la nova concepció del món postulada per Nicolás Copèrnic (1473-1543) el 1543, en la qual és el Sol, i no la Terra, l'astre que ocupava la posició central. Serà Tycho Brahe (1546-1601) qui, en observar el cometa de 1577, va posar en dubte l'existència d'aquestes esferes com a entitats sòlides, ja que el cometa, l'òrbita del qual va estudiar amb detall, les hauria de creuar.

«EN EL SEGLE II DC,  
PTOLOMEU POSTULA  
L'EXISTÈNCIA D'ENTITATS  
GEOMÈTRIQUES PER  
EXPLICAR ELS MOVIMENTS  
OBSERVATS DELS COSSOS  
CELESTES EN UN SISTEMA  
DEL MÓN GEOCÈNTRIC»

#### ■ ESTELS FOSCOS

Davant d'una nova observació astronòmica que en principi poguera resultar paradoxal, és raonable postular l'existència d'entitats que, encara que no foren detectables inicialment, pogueren explicar de manera convincent les observaci-

ons. Quan els astrònoms *amateurs* anglesos John Goodricke (1764-1786) i Edward Pigott (1735-1825) van estudiar sistemàticament els estels que avui denominem variables, la brillantor dels quals canvia de manera periòdica amb el pas del temps, van suggerir que les variacions de brillantor eren conseqüència del trànsit per davant de l'estel d'un altre estel fosc (*unlightened star*). És interessant destacar que aquest argument va ser esgrimit quan encara no es coneixien parells d'estels lligats gravitacionalment formant sistemes binaris. Encara que certament la variabilitat de molts d'aquests estels és deguda a pulsacions internes, tal com mostraria Sir Arthur S. Eddington (1882-1944) el 1926, els estels foscos que n'eclipsen d'altres van deixar de ser meres hipòtesis quan, fent ús de l'espectroscòpia, es van dur a terme mesures precises de la velocitat radial dels estels i es va poder comprovar que existien estels binaris eclipsants.

#### ■ LA DEFENSA DE NEWTON

Però sens dubte el major conjunt d'entitats postulades per defensar una concepció particular del cosmos es va donar amb la gravetat de Sir Isaac Newton (1643-1727). L'exemple més espectacular va ser el descobriment de Neptú el 1846. Anys abans, el 1781, Wilhelm Herschel (1728-1822) i la seua germana Caroline (1750-1848) havien descobert un poc per casualitat el planeta Urà. Les anomalies que s'observaven en l'òrbita d'Urà van portar a postular l'existència d'un vuitè planeta més allunyat. Urbain Le Verrier (1811-1877), de l'Observatori de París i, de manera independent, l'anglès John Couch Adams (1819-1892) van determinar on havia de buscar-se i va ser allí on es va trobar, només unes setmanes després que Le Verrier anunciara la seua predicció definitiva. Això va ser possible perquè Urà havia avançat Neptú en la seua òrbita al voltant del Sol només un parell d'anys abans. Si s'hagueren trobat l'un i l'altre en costats oposats del Sol, les observacions no haurien posat de manifest cap anomalia.

De manera semblant, Friedrich W. Bessel (1784-1846) va afirmar que els moviments propis de dos dels estels més brillants, Sírius i Proció, implicaven que ambdós haurien de tenir una companya fosca de massa comparable a la d'aquells estels. Com que Bessel va morir el 1846 no va poder arribar a dir «ja us ho havia dit» quan Alvan Clark (1804-1887) va descobrir Sírius B el 1862 i John M. Schaeberle (1853-1924) Proció B el 1895.

A aquests èxits van seguir molts fracassos en l'ofici de detectar allò inicialment predit. Llavors era coneguda una anomalia que s'observa en l'òrbita de Mercuri. El seu periheli (el punt de l'òrbita més pròxim al Sol) experimenta un avanç secular (precessió) que, encara que molt petit, podia ser observat amb prou exactitud.



© British Museum

La deessa egípcia Nut, en una representació en què se li veu sostenint la volta celeste estelada i protegint així els habitants de la Terra.



© Special Collections, University of Amsterdam

Les esferes del sistema del món de Ptolomeu, en una representació que apareix en *Harmonia Macrocosmica* de Cellarius (1661). Els planetes s'hi mouen entorn dels epicicles, els centres dels quals giren entorn del deferent.

El valor que es mesurava era major que el calculat fent ús de la teoria newtoniana. Avui sabem que la petita diferència s'explica de manera natural en la teoria de la gravitació d'Einstein (la relativitat general), però per a justificar l'excés, en el segle XIX, es van proposar diferents entitats que òbviament mai es van detectar: un planeta en l'interior de l'òrbita de Mercuri, que va rebre el nom de Vulcà, un anell d'asteroides també intramercurial, un Sol prou aplatat, l'empenta de l'èter, desviacions de la llei de gravetat de Newton en la rodalia del Sol, etc.

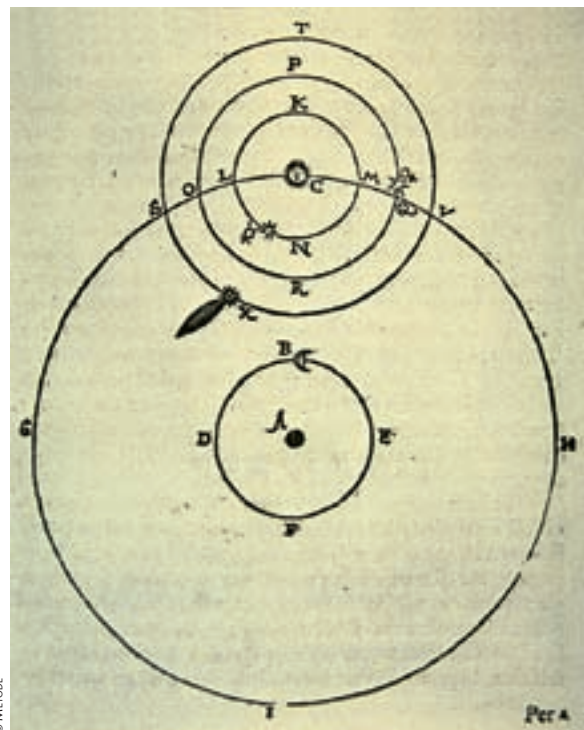
#### ■ EL FOSC CEL NOCTURN

Un altre fenomen que requereix recursos invisibles és la paradoxa d'Olbers, que podem plantejar amb una pregunta: per què el cel és fosc a la nit? El nom és degut

a l'astrònom alemany Heinrich Olbers (1758-1840), qui la va popularitzar. La foscor de la nit és un fet observable evident, però, per donar una resposta convincent a aquesta pregunta, alguns científics van necessitar postular l'existència d'entitats sense la contribució de les quals la resposta no semblava tan òbvia. Molts filòsofs de la naturalesa, incloent-hi Giordano Bruno (1548-1600), Thomas Digges (1546-1595) o Newton, suposaven que l'univers tenia extensió infinita en l'espai i en el temps i que a gran escala estava uniformement poblat d'estels. Aquestes idees ja havien sorgit en l'antiga Grècia amb Demòcrit o Epicur, mentre que altres, com ara Zenó de Cítion, proposaven un cosmos finit d'estels voltat per un buit infinit. Si l'univers fóra infinit, i fóra poblat de manera uniforme per estels, la nit brillaria com el Sol. Els càlculs d'Edmund Halley (1656-1742) així ho provaven. Per evitar aquest cel brulent, tant ell com Digges van argumentar que els objectes prou distants proporcionaven massa poca llum perquè pogueren «moure els nostres sentits». Una versió moderna d'aquesta idea la va apuntar Fritz Zwicky (1898-1974) el 1929 en parlar de «llum cansada» per explicar el desplaçament cap al roig que s'observa en les galàxies remotes. Avui sabem que aquesta hipòtesi és falsa.

Una segona solució a la paradoxa d'Olbers va ser la proposada per Jean-Philip Loys de Cheseaux (1718-1751) i més tard pel mateix Olbers, i consistia a postular que algun tipus d'èter en l'espai o medi interestel·lar absorbia part de la llum dels estels en el seu camí a la Terra, de manera que el cel nocturn continuara sent fosc. Avui sabem que, per raons termodinàmiques, aquesta hipòtesi no se sosté. L'absorció no pot amagar tot un univers d'estels, ja que l'eventual material absorbent s'escalfaria de tal manera que tornaria a radiar la llum absorbida.

Una tercera solució defensada per John Herschel (1792-1871) i Richard A. Proctor (1837-1888) es basava en l'abandó de la idea de distribució uniforme a gran escala i suggeria una jerarquia en les agrupacions de matèria còsmica (els estels s'apleguen per formar galàxies, aquestes al seu torn formen cúmuls de galàxies, i així successivament). Una idea que ja havia avançat Immanuel Kant (1724-1804) el 1755 i que en terminologia moderna es coneix com a estructura fractal. Si aquesta jerarquia no tinguera fi, com que la densitat de matèria disminueix en créixer l'escala, sempre quedarien buits sense estels al cel, i la nit continuaria essent fosca. En tot cas, la solució tampoc no és vàlida, ja que de l'estudi de l'estructura còsmica a gran escala hem après que el règim fractal s'observa en la distribució de galàxies només a determinades escales, per desaparèixer a escales majors, i per tant l'univers fractal és una entitat que no té fonament. L'enigma d'Olbers es resol tot considerant



Thyco Brahe, astrònom danès del segle XVI, va posar en dubte la teoria de Georg Peurbach, qui considerava que les esferes ptolemaiques eren sòlides. Per a Brahe, en canvi, les esferes celestes són sòlides, sinó que els cometes les travessen.

que els estels que poblen l'univers en expansió no viuen eternament i que la seua llum viatja a una velocitat finita, de manera que la llum de totes elles no pot –en cap moment de la història còsmica– fer brillar el cel nocturn.

## ■ L'ÈTER LUMINISCENT

L'«èter» és sens dubte l'«entitat postulada però no vista» que més vegades ha aparegut al llarg de la història de la ciència, des d'Aristòtil fins als nostres dies. L'horror al buit ha portat molts científics a comptar amb l'èter per evitar espais sense res en el seu interior. Certament, el cosmos més elaborat basat en l'èter és degut a René Descartes (1596-1650), que va proposar l'existència de tres tipus de matèria –lluminosa, transparent i opaca. De la primera eren fets el Sol i els estels; de l'última, la Terra i els planetes. La del mig, etèria, circulava formant els vòrtexs que arrosseguen els planetes. D'alguna manera aquests vòrtexs reemplaçaven les esferes cristal·lines en què estaven encastats els planetes en les cosmologies geocèntriques. Christiaan Huygens (1629-1695), Gottfried Leibniz (1646-1726) i fins i tot Newton –en els seus inicis– van intentar explicar els moviments en el Sistema Solar fent ús de principis cartesianes en què l'univers era un *plenum* d'èter.

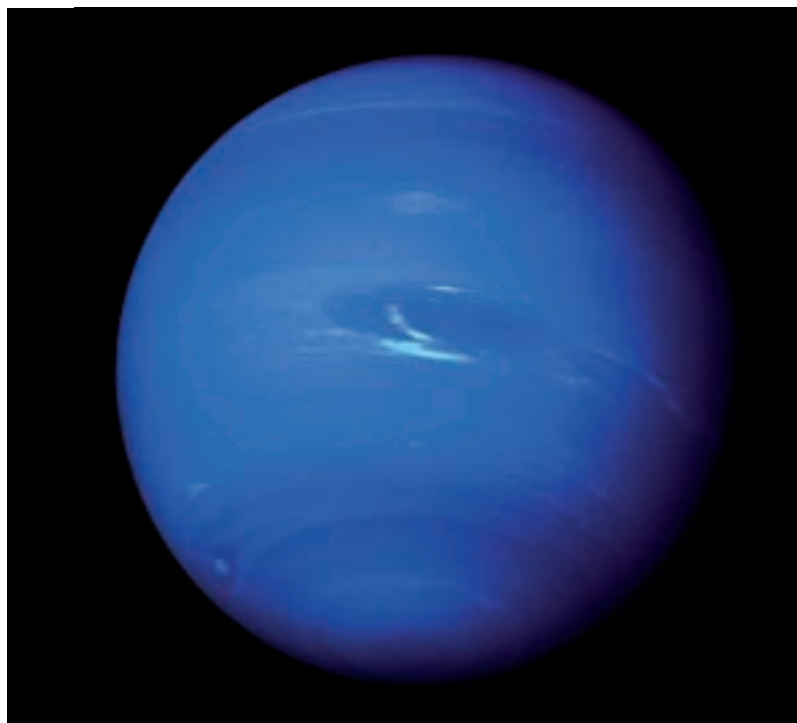
Newton abandonaria aquestes idees més avant, el seu univers estaria pràcticament buit i les forces gravitacionals s'hi propagarien a velocitats infinites, mentre que per a la propagació de la llum continuaria fent ús d'una noció més evolucionada de l'èter, com també per explicar la curvatura de les cues dels cometes. Els experiments de Thomas Young (1773-1829) que donaven un caràcter ondulatori a la llum van revivir la noció de l'«èter luminiscent», com descriuria Agnes M. Clerke (1842-1907) el 1902: «el vehicle eteri de la propagació de la llum», de la mateixa manera que el so necessita d'un medi –l'aire– per propagar-se. Anys abans, el 1887, Albert A. Michelson (1852-1931) i Edward W. Morley van realitzar un experiment que demostrava la inexistència de l'èter i que va donar peu a l'ulterior

desenvolupament de la teoria de la relativitat especial d'Albert Einstein (1879-1955).

#### ■ EL COSTAT FOSC DE L'UNIVERS

Els cosmòlegs moderns postulen des de fa dècades l'existència de matèria fosca. Resulta imprescindible per a explicar, en el marc de la teoria de gravitació que acceptem l'estabilitat dels cúmuls de galàxies o les velocitats de rotació dels estels en les galàxies espirals.

Es tracta d'una matèria que ha d'interaccionar molt dèbilment amb la resta i que, per descomptat, no emet llum, però que té uns efectes gravitacionals que sí que són patents en les galàxies i els cúmuls de galàxies. Es proposa la seua existència, però està resultant molt esquiva i de la seua naturalesa encara no en sabem res. Durant moltes dècades, els cosmòlegs han intentat quantificar el ritme al qual hauria d'estar alentint-se l'expansió còsmica a causa de l'atracció gravitatòria de tota la matèria que constitueix l'univers. No obstant això, el 1998, dos equips d'astrònoms, els líders dels quals han rebut l'últim Premi Nobel de Física, van presentar uns resultats que evidenciaven precisament el contrari: l'expansió s'està accelerant. Analitzant la llum que prové de supernoves molt remotes, aquests grups van concloure que l'atenuació que s'observa en la llum procedent d'aquestes supernoves era conseqüència del fet que, en realitat, es troben més lluny, la qual cosa implica una expansió accelerada. Es va postular l'existència d'energia fosca (o quinta essència) que actuaria com una gravetat repulsiva. El costat fosc de l'univers –energia i matèria fosca– representa el 95% de la seua composició. Aquestes entitats es proposen per a entendre les observacions actuals del nostre univers, com es postulava l'èter per a entendre la propagació de la llum, els epicles i deferents per a entendre el moviment retrògrad dels planetes, o Neptú per a entendre les anomalies en l'òrbita d'Urà. D'aquests darrers exemples, només Neptú es va trobar; els altres senzillament, no existeixen.

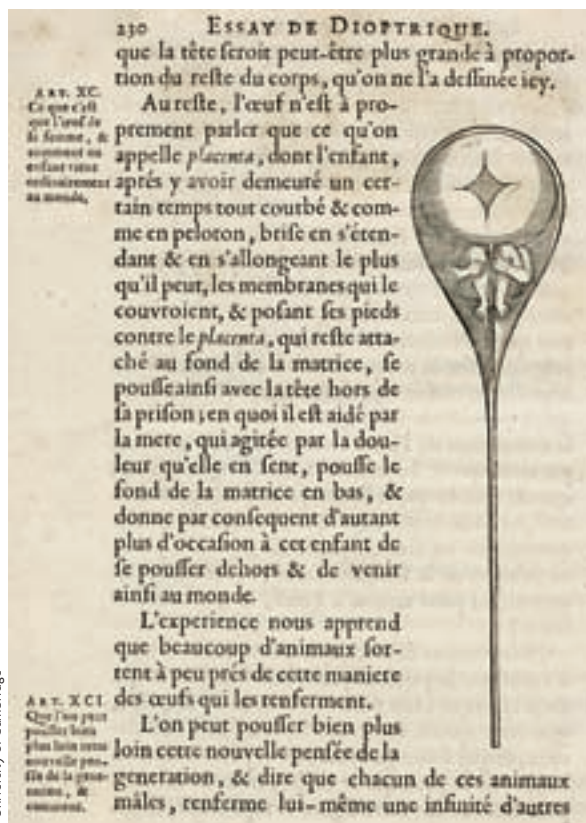


El planeta Neptú, fotografiat per la nau *Voyager 2* el 1989, 143 anys després de ser descobert.

**«RENÉ DESCARTES VA PROPOSAR L'EXISTÈNCIA DE MATÈRIA LLUMINOSA, TRANSPARENT I OPA. DE LA PRIMERA ESTAVEN FETS EL SOL I ELS ESTELS; DE L'ÚLTIMA, LA TERRA I ELS PLANETES. LA DEL MIG, ETÈRIA, CIRCULAVA FORMANT ELS VÒRTEXS QUE ARROSSEGUEN ELS PLANETES»**

#### ■ NO SOLS EN ASTRONOMIA: L'HOMUNCLE, EL FLOGIST I EL NEUTRÍ

En altres disciplines s'han postulat entitats semblants: l'homuncle en fisiologia, el flogist en química o el neutrí en física. Les doctrines teològiques preformistes, així com la culpa pel pecat original, a més de la relativa falta d'importància atorgada a les dones, encara eren vives quan els microscopis van observar per primera vegada les cèl·lules humanes. Per tant, no és gens estrany que almenys uns quants filòsofs naturals de finals del segle XVII asseguraren haver vist una espècie de maniquí en l'esperma, un homenet completament



© University of Cambridge

Alguns filòsòfs naturals de finals del segle XVII van afirmar haver observat l'homuncle en l'esperma, una espècie de maniquí dins dels espermatozoides, com aquest que va representar gràficament N. Hartsoeker el 1694.

format del qual sorgiria més tard el fetus: l'homuncle, encara que Nicolás Hartsoeker (1656-1725) i François de Plantade, també dit *Dalempatius* (1670-1741) diferien sobre si la cua dels espermatozoides era o no el cap del «petit home».

Els nous microscopis i les ments més obertes van rebutjar prompte aquesta entitat, encara que les reminiscències van arribar als temps de Charles Darwin (1809-1882). En l'època en què els fluids es feien servir per a explicar qualsevol fenomen físic i la calor era un fluid anomenat *calòric*, Georg E. Stahl (1659-1734) va sistematitzar l'entitat anomenada *flogist* que posseïrien els cossos inflamables. El flogist seria, doncs, un fluid que escaparia durant la combustió i, encara que, certament, la seua existència es descartaria, els intents de mesurar-ne el pes van ser crucials perquè químics com Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) determinaren el paper de l'oxigen en la combustió.

El 1930, Wolfgang E. Pauli va postular l'existència del neutrí per a preservar el principi de conservació d'energia en la desintegració beta. Pauli va postular l'existència d'aquesta partícula sense càrrega, pràctica-



© Booster Neutrino Experiment

Pauli va postular l'existència dels neutrins (partícules sense càrrega i pràcticament sense massa), que es produïrien durant la desintegració beta per compensar la suposada pèrdua d'energia. Anys després, Cowan i Reines van demostrar la seua existència, com pot observar-se en aquesta imatge, on es mostren traces de neutrins en un experiment de partícules del Fermilab (Chicago).

ment sense massa i potser indetectable que es produiria durant la desintegració per compensar l'aparent pèrdua d'energia. El 1956, Clyde L. Cowan (1619-1974) i Frederick Reines (1918-1998) van demostrar experimentalment la seua existència (Reines va rebre el premi Nobel de Física el 1995). Històries d'èxits semblants les han viscudes altres partícules com el quark top descobert en el Fermilab (Chicago) el 1995 o els bosons W i Z descoberts en el CERN (Ginebra) el 1983. Potser en el seu nou accelerador de partícules, el Large Hadron Collider, s'estiga escrivint ara mateix la història del descobriment de l'anhelat bosó de Higgs (o la confirmació de la seua inexistència).

## ■ EPÍLEG

En general, han estat moltes més les entitats postulades que mai van ser detectades i que finalment es van considerar innecessàries o errònies perquè altres explicacions o altres descobriments van obligar a deixar-les de costat. Però sens dubte, en els pocs casos en què es va trobar el que s'havia predit, l'èxit va ser sonat. Si algun dia arribem a conèixer la naturalesa de la matèria i l'energia fosques, el descobriment mereixerà totes les enhorabones —premi Nobel inclòs—, però, ara com ara, tampoc podem descartar que aquestes entitats es marquesquen amb el temps, com ho van fer en el passat moltes de les seues predecessores. ☺

**Vicent J. Martínez.** Director de l'Observatori Astronòmic de la Universitat de València.

**Virginia Trimble.** Professora d'Astronomia de la Universitat de Califòrnia, Irvine. Doctora *honoris causa* de la Universitat de València.