



Fuencisla Francés. *Sense límit*, 2009. Suport de tela, collage d'oli sobre paper, 115 x 115 cm.

LA CALOR DELS ESTELS FREDS

DE COM ELS ESTELS ES VAN CONVERTIR EN ACTORS PRINCIPALS DE L'UNIVERS

Javier Ordóñez

Heat from Cold Stars. How Stars Became Major Players in the Universe.

Although they are ever present in the night sky, stars did not attract the attention of scientific astronomy until the late eighteenth century. The exploration of deep space, studies of the behavior of the Sun and spectroscopic analysis were the gateways to a new astronomy, conceived as the *Science of the Stars*.

Els estels sempre han estat als cels però no sempre van ser objecte dels afanys dels astrònoms. És cert que molts enterraments mediterranis s'orientaven cap a la posició que fa cinc mil anys ocupava Sírius i que aquest mateix estel va ser usat pels egipcis per confeccionar els calendaris de les crescudes del Nil. Sabem que els babilonis van estudiar les constel·lacions zodiacals, que l'astronomia xinesa s'organitzava des de l'estel polar per mitjà de meridians estel·lars. També és cert que des de l'antiguitat es van confeccionar catàlegs d'estels i que disposem de repertoris estel·lars en la cultura xinesa més remota. En la cultura grega Hiparc va mesurar la posició de centenars d'estels que figuren en l'obra de Ptolemeu.

Dels estels, se'n pot dir tot això i moltes coses més, encara que continua sent cert que l'astronomia no sempre hi va comptar. Amb el temps es va convertir en una ciència de la computació, del càlcul, de les posicions del Sol, de la Lluna i dels planetes i cometes. Després, en una mecànica d'aquests astres. Els estels no van ser mai gaire atractius per als matemàtics. El Sol va ser un estel més a partir de la revolució copernicana, però només tenia importància com a centre gravitatori.

Els mapes d'estels van començar a interessar a finals del segle XVII amb la fundació de l'Observatori de Greenwich, quan l'almirallat britànic va voler disposar de procediments fiables per determinar la longitud en el mar. Es necessitava informació precisa del movi-

ment del Sol i de la Lluna, i els estels eren d'una ajuda inestimable com a referència encara que només com a actors secundaris. Les observacions estel·lars dels dos primers directors de l'Observatori, Flamsteed (1646-1719) i Bradley (1693-1762), van permetre elaborar atles d'estels d'una precisió molt acceptable. Però els astrònoms del XVIII van usar els telescopis gairebé exclusivament com a instruments matemàtics.

«ELS ESTELS NO VAN SER MAI GAIRE ATRACTIUS PER ALS MATEMÀTICS. EL SOL VA SER UN ESTEL MÉS A PARTIR DE LA REVOLUCIÓ COPERNICANA, PERÒ NOMÉS TENIA IMPORTÀNCIA COM A CENTRE GRAVITATORI»

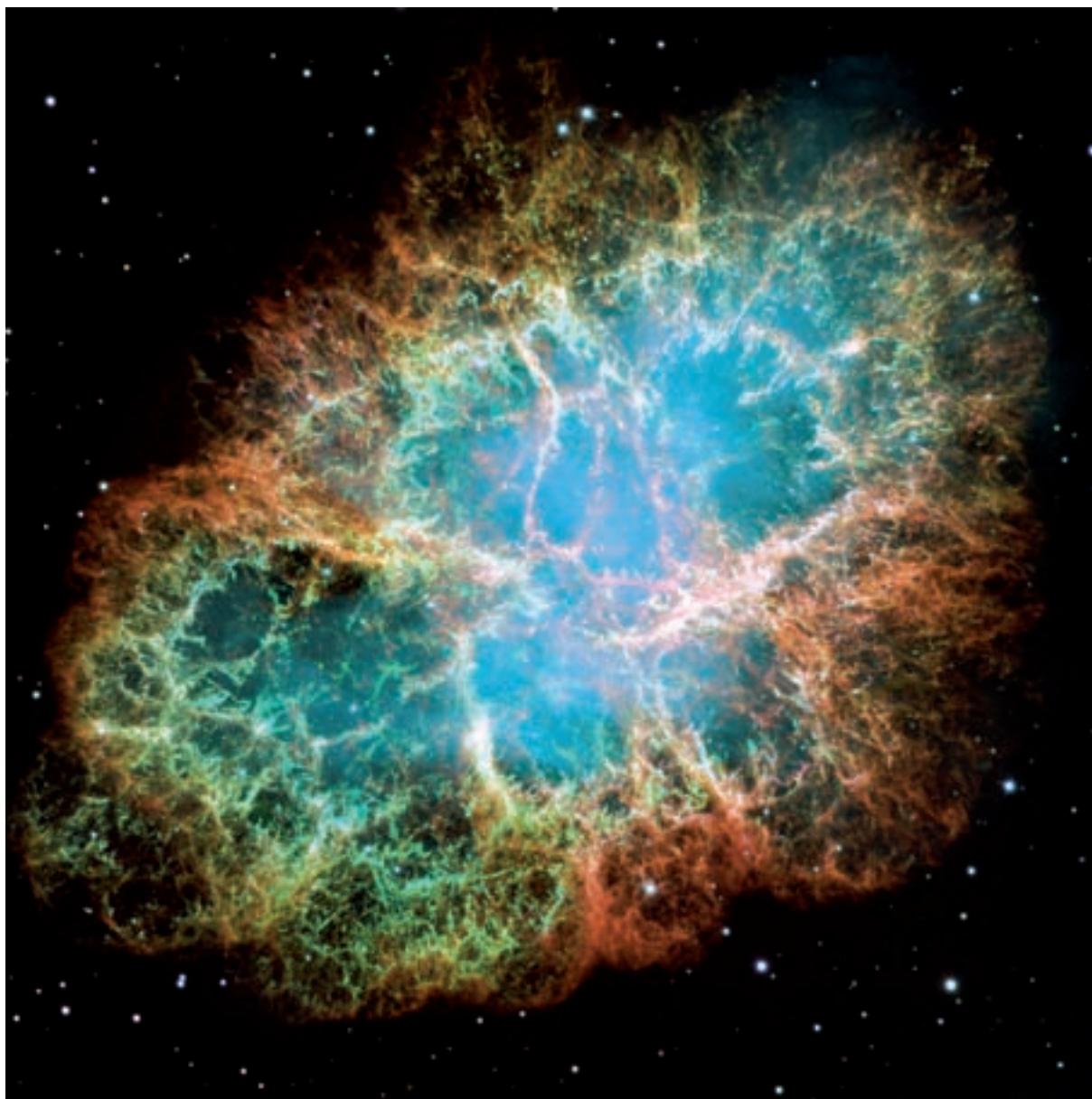
■ PRIMER VIATGE A L'ESPAI PROFUND

Des de final del segle XVI s'acceptava que els estels es trobaven a diferents distàncies del Sol i se n'havien detectat de nous. A mitjan segle XVII, l'astrònom polonès Hevelius va estudiar un estel variable, fins i tot Edmund Halley a començament del segle XVIII havia detectat petits moviments propis en alguns estels. Però això era tot. La teoria de la gravitació

universal resultava poc aplicable al cel estelat. Ningú no sabia per què els estels no s'atreien els uns als altres fins col·lapsar en algun centre de gravetat. Es coneixien, això sí, alguns cossos estranys, denominats *nebuloses*. L'astrònom francès Charles Messier (1730-1817) va elaborar entre 1764 i 1782 un catàleg de 110 nebuloses per no confondre-les amb cometes.

En l'últim quart del segle XVIII, els germans Wilhelm Herschel (1738-1822) i Carolina Herschel (1750-1848), astrònoms aficionats, van estudiar les nebuloses i els estels com a objectes astronòmics interessants per si ma-





© NASA, ESA, i J. Hester (Arizona State University)

L'objecte M1 que figura el primer al catàleg de nebuloses de Messier. L'any 1054 de la nostra era, astrònoms xinesos i àrabs van donar compte de l'existència d'una llum extraordinària que es va fer visible de dia durant setmanes en la constel·lació de Taurus. A partir de dibuixos de Lord Rosse, va rebre el nom de Nebulosa del Cranc. Avui se sap que són les restes d'una supernova.

teixos. El 1781 es van acreditar pel descobriment d'Urà, que van catalogar com a cometa, i després es va convertir en un nou planeta. Els germans Herschel van construir telescopis d'espills amb els quals desitjaven penetrar en les profunditats dels espais siderals. En la dècada dels vuitanta, els Herschel van començar a inspeccionar els cels en totes les direccions comptant estadísticament els estels que apareixien en cada un dels cons de visió. Van plantejar una hipòtesi molt arriscada però útil: que els estels mostraven una lluminositat inversament propor-

cional a la distància, és a dir, un estel molt dèbil havia de ser un estel molt llunyà. Així van oferir als atònits ulls dels astrònoms de la Royal Society of London, en el gravat que s'adjunta al text, una imatge que representava com es podria veure la nostra Via Làctia des de fora.

El rendiment de les seues exploracions va ser fabulós; els Herschel van aconseguir que el nombre de les nebuloses conegudes el 1802 es comptara per milers. A més, van comprovar que la majoria de les nebuloses es resolien en núvols d'estels en observar-les amb els

seus telescopis. Ocorria això amb totes les nebuloses? Les seues observacions i catàlegs van constituir una base empírica inestimable per a la nova astronomia dels estels. Amb els seus telescopis esdevingueren uns «nous Galileus», car els van fer servir com a instruments físics i filosòfics. No van detectar la paral·laxi de cap estel perquè els seus reflectors eren poc precisos per a aquest objectiu, però van obrir la porta a especulacions fantàstiques. Què significava la paraula *cosmos*? Es tractava d'un arxipèlag d'illes cada una de les quals era una Via Làctia per si mateixa? Aquesta hipòtesi, batejada més tard amb el nom d'*hipòtesi de l'univers illa*, no es va verificar plenament fins a la tercera dècada del segle xx. Fins llavors l'astronomia dels estels va haver de fer un llarg camí.

■ LA LLUM, AUTÈNTIC MISSATGER DELS ESTELS

Els astrònoms professionals de començament del segle XIX van valorar el treball dels Herschel, però van continuar sense interessar-se pels estels. És cert que Friedrich Bessel (1784-1846) va aconseguir determinar la paral·laxi de 0'314", i per tant la distància absoluta, de l'estel fix 61 Cygni (Cigne). No obstant això, fins a quint punt es podria afinar la precisió en les observacions? Els estels més pròxims suggerien unes distàncies tan enormes que feien impensable aconseguir una exploració de l'univers amb la pura geometria. La mecànica celeste servia de poc per a introduir-se en la profunditat d'aquests espais estel·lars.

Però si les matemàtiques no servien per a l'astronomia dels estels, ciències noves, la termodinàmica, l'òptica física i la teoria de la radiació, es van convertir en les seues noves aliades. La llum era el missatger perfecte dels estels amb informació molt valuosa. No van reparar en el seu valor els astrònoms, sinó els fabricants de vidre. El bavarès Joseph Fraunhofer (1787-1826) construïa lents per a telescopis amb vidre excel·lent. Fraunhofer va usar les ratlles de Wollaston com un patró de qualitat. En estudiar-les, va comprovar que eren centenars i de diferent grossària. Però el seu descobriment més notable va ser que la distribució de les ratlles no era la mateixa per a qualsevol tipus de llum, sinó que variaven segons la font, i que els estels podien ser fonts de llums diferents.

El 1860, una fecunda aliança entre el químic Robert Bunsen (1811-1899) i el físic Gustav Kirchhoff (1824-1887), que treballava en teoria de la radiació, va permetre trobar una clau per començar a entendre el significat d'aquelles ratlles, és a dir, dels espectres de llum. Els



Figura que va aparèixer en l'article ressenyat per a mostrar la forma que devia tenir l'univers d'estels que s'albirava des de la Terra.

HERSCHEL, W., 1785. «On the Construction of the Heavens». *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 75: 213-266.

científics mencionats van arribar a establir que cada element químic tenia una ratlla característica en l'espectre que transportava la llum. Així, es van adonar que la llum oferia informació de la composició dels estels i l'espectroscòpia es va convertir en una eina molt adequada per a desentranyar-la.

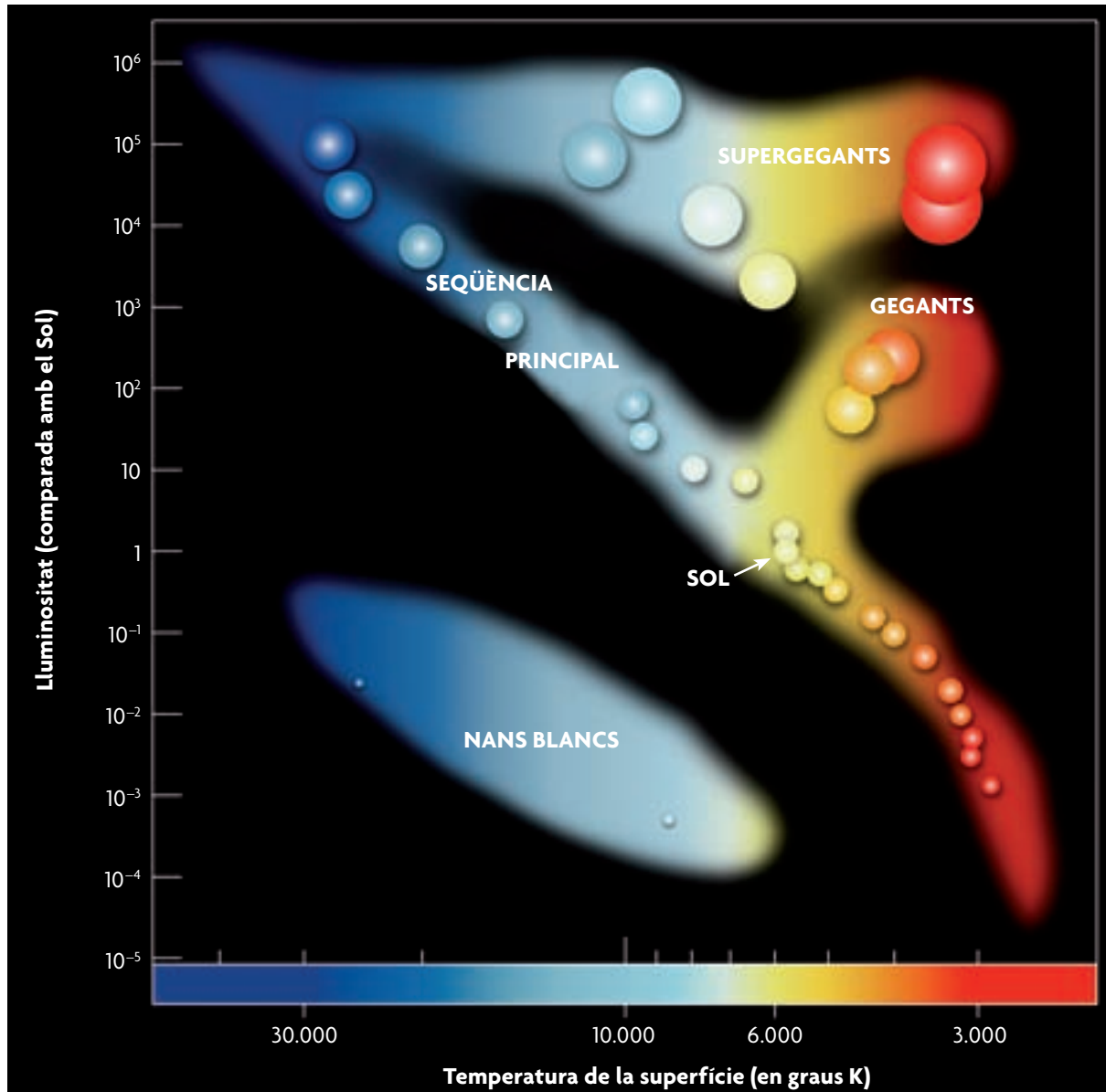
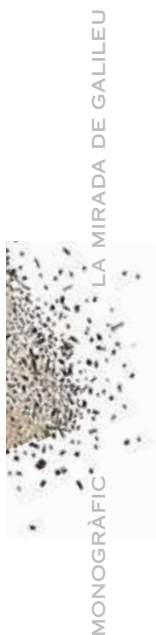
■ EL SOL, UN ESTEL MÉS, PERÒ EL NOSTRE

De manera paral·lela a aquests descobriments ha de mencionar-se l'interès que va suscitar l'estudi del Sol durant el segle XIX. Eren iguals tots els estels i iguals al Sol? Semblava que no. Per tant, l'opció més raonable era suposar que el Sol pertanyia a un dels diferents tipus d'estels existents. Per a estudiar el Sol es van aprofitar els eclipsis, que permetien conèixer l'activitat de l'escorça solar, i es van detectar protuberàncies i un fenomen semblant a «tempestes solars» que van fascinar els primers observadors. A més, el farmacèutic alemany i afecionat a l'astronomia Heinrich Schwabe (1789-1875) va

estudiar el comportament de les taques solars alhora que buscava un possible planeta situat entre Mercuri i el Sol. Va analitzar minuciosament la deriva de les taques solars i el seu període. Alexander von Humboldt va mencionar els resultats en la seua obra *Cosmos*. Quasi al mateix temps, Edward Sabine (1788-1883), militar britànic i ferm partidari d'estudiar el magnetisme com a mitjà d'assegurar la navegació, va descobrir que les variacions *cíclics* del camp magnètic terrestre tenien el mateix període que l'evolució de les taques *solars*. Tot indicava que el Sol influeix sobre la Terra no sols de manera mecànica i gravitacional, sinó també de manera magnètica. La segona meitat del segle XIX es va convertir en l'edat d'or de l'espectroscòpia i al mateix temps s'incrementava la passió per estudiar el Sol. L'astrònom francès Pierre J. C. Janssen (1824-1907) va advertir durant l'estudi de la corona solar en un eclipsi unes línies d'absorció

«LES INVESTIGACIONS
VAN DONAR LA RAÓ ALS
QUI DEFENSAVEN QUE EN
L'UNIVERS HI HA OBJECTES
FORA DE LA NOSTRA VIA
LÀCTIA»





No tots els estels són iguals. En la imatge, diagrama Hertzsprung-Russell on es distribueixen els diferents tipus de poblacions estel·lars en funció de la seua temperatura superficial i lluminositat (en lluminositats solars). Aquest diagrama permet seguir l'evolució d'un estel des de la seqüència principal, on es troben la major part de la seua existència, fins les diferents situacions a què arriben els estels cap al final de la mateixa, depenent de les seues propietats inicials. S'hi indica la posició que ocupa el Sol (a la seqüència principal).

que no coneixia. Va comunicar el seu descobriment a l'astrònom britànic Joseph N. Lockyer (1836-1920), qui va confirmar que podria tractar-se d'un nou element que hi haguera en el Sol. Això ocorria l'any 1868, i es va proposar el nom d'heli per a aquest element desconegut a la Terra. El 1896, el químic escocès William Ramsay el va trobar en un mineral anomenat cleveïta precisament usant l'espectre dels astrònoms mencionats. L'heli és escàs a la Terra però és l'element més abundant de l'univers després de l'hidrogen.

A partir de les darreres dècades del XIX, els nous astrònoms, que llavors van adoptar el nom d'astrofísics, van plantejar dos problemes fonamentals respecte als estels. El primer, com és possible que brillaren contínuament? D'on obtenien l'energia que radiaven? En segon lloc, com es distribuïen en l'espai?

El primer problema va rebre les respostes més variades des de la mecànica. Es va pensar que el Sol obtenia l'energia per mitjà d'una pluja meteorítica que l'escalfava, tot i que finalment va prevaldre la idea que es pro-

duïa un procés de contracció gravitacional que permetia alliberar grans quantitats de calor. Els càlculs realitzats per Helmholtz sobre el Sol no van ser concloents. Molt més tard, la científica Cecilia Payne-Gaposchkin (1900-1979) va intentar convèncer la comunitat d'astrònoms que el Sol era format per hidrogen, i aquest element devia ser, doncs, el més abundant en els estels. Ho va afirmar en la seua tesi doctoral el 1925, i va ser una pista fonamental per a entendre el procés de transformació d'hidrogen en heli com a font d'energia solar a causa de la transformació de massa en energia, perquè els dos àtoms d'hidrogen necessaris per a formar-ne un d'heli tenen més massa que aquest últim, i aquest dèficit de massa, segons la teoria relativista, es devia convertir en energia. Així es va interpretar que la vida d'un estel consistia almenys en un procés de transformació en heli de l'hidrogen que contenia en la seua massa.

■ ELS ESTELS DISPERSOS

A més, a començament del segle xx s'havia classificat un nombre considerable d'estels per mitjà dels seus espectres. El catàleg realitzat per Edward Pickering (1846-1919) a Harvard, finançat pel llegat que la vídua de Henry Draper (1837-1882) va donar a la Universitat de Harvard, va ser fonamental per a l'astrofísica. Molts astrònoms van usar aquesta informació empírica per proposar diagrames d'evolució dels estels. Amb el suport dels treballs dels físics, l'astrònom danès Ejnar Hertzsprung (1873-1967) i l'astrònom americà Henry Norris Russell (1877-1957) van oferir el 1912 de manera independent un diagrama d'evolució estel·lar que contenia molts interrogants perquè hi havia una seqüència principal que semblava donar una pauta per a entendre l'evolució de la vida dels estels, i excepcions fora de la seqüència. El diagrama va ser molt rendible per a estudiar l'astrofísica estel·lar de manera refinada durant les dècades següents.

Respecte al segon problema, el de la distribució dels estels en l'espai i la distància al Sol, s'ha de mencionar un resultat apreciable obtingut per Henrietta Swan Leavitt (1868-1921), membre de l'equip de Harvard que es va centrar de manera molt particular en uns estels variables, denominats *cefeïdes*, el període dels quals semblava estar relacionat amb la distància respecte al Sistema Solar i, per descomptat, amb l'escala de l'univers. No obstant això, la pregunta sobre la grandària de l'univers resultava més senzilla de formular que de contestar.

«AL CAPDAVALL, LA UNITAT DEL NOSTRE UNIVERS VA RESULTAR SER LA GALÀXIA, ENCARA QUE ELS ESTELS EREN UNS OBJECTES ABUNDANTS. L'UNIVERS, MÉS QUE MAI, ESDEVENIA UN LLOC ENIGMÀTIC I INQUIET DEL QUAL ES DESCONeixIA QUASI TOT»

George Ellery Hale (1868-1938) va propiciar un debat sobre la grandària de l'univers en una reunió que va tenir lloc el 29 d'abril de 1920 a l'Acadèmia Nacional de Ciències de Washington davant d'un públic d'astrofísics, batejada després amb el grandiloqüent nom de Gran Debat. Hale va reunir a la sala el jove astrònom Harlow Shapley (1885-1972), i Herbert Curtis (1872-1945), en aquella època director de l'observatori Lick de la universitat de Califòrnia. El tema de la reunió va ser «l'escala de l'univers». El debat només va servir per a plantejar la pregunta en termes precisos i per a contrastar les tècniques que s'utilitzaven per determinar les distàncies astronòmiques. La qüestió va quedar en l'ambient perquè llavors ja s'obrien pas les idees relativistes i cosmològiques d'Albert Einstein. Pocs anys més tard, els treballs d'un col·laborador de Hale al Mount Wilson, anomenat Edwin Powell Hubble (1889-1953), van estudiar amb detall totes les dades que s'havien posat sobre la taula en el gran debat i van explorar les possibilitats que oferien les tècniques de mesurament de distàncies per mitjà de les variacions lluminoses de les cefeïdes. Les seues investigacions van donar la raó als qui defensaven que en l'univers hi ha objectes fora de la nostra Via Làctia i que el cosmos era format per un immens arxipèlag compost de galàxies formades per milers d'estels. I no sols això, es va establir que l'univers no era un lloc tranquil, els desplaçaments al roig i al blau eren una característica general de l'univers. Posteriorment es va comprovar que les galàxies es movien, la major part s'allunyaven de la nostra, com si l'univers estiguera sempre en expansió.

Així, doncs, al capdavall, la unitat del nostre univers va resultar ser la galàxia, encara que els estels eren uns objectes abundants, de classes molt variades, amb vides de longitud desmesurada si les comparem amb les nostres, però molt breus en termes cosmològics. L'univers, més que mai, esdevenia un lloc enigmàtic i inquiet del qual es desconeixia quasi tot. ☺

BIBLIOGRAFIA

- BATTANER, E., 2001. *La física de las noches estrelladas. Astrofísica, Relatividad y Cosmología*. Tusquets Editores. Barcelona.
 RIOJA, A. i J. ORDOÑEZ, 2006. *Teorías del universo Volumen III. De Newton a Hubble*. Síntesis. Madrid
 WHITEHOUSE, D., 2006. *El Sol: una biografía*. Kailas. Madrid
 WEINBERG, S., 1978. *Los tres primeros minutos del universo*. Alianza Editorial. Madrid.

Javier Ordóñez. Professor del Departament de Lingüística, Llengües Modernes, Lògica i Filosofia de la Ciència, Universidad Autónoma de Madrid, i investigador del Max Planck Institute for the History of Science (Berlín).

