



ELS VIATGES DE LA FÍSICA

PERSEGUINT OMBRES, MESURANT MERIDIANS

JOSEP BATLLÓ

A partir del segle XVII l'estudi acurat i la resolució de diversos problemes de la física, principalment relacionats amb l'astronomia i la forma de la Terra, però també amb altres matèries, va implicar realitzar mesures a diferents llocs i, per tant, va obligar a organitzar viatges científics amb aquests objectius específics. Presentarem alguns d'aquests problemes i les solucions adoptades a l'època.

Paraules clau: eclipsi, meridià, meteorologia, relativitat, viatge.

La necessitat del viatge per als naturalistes no costa gaire d'argumentar. Ja resulta més sorprenent que la solució o, si més no, l'estudi més acurat de segons quins problemes relacionats amb la física també els requereixi. Potser penseu: és clar, bé cal establir contacte personal amb altres científics o visitar laboratoris especialment dotats que permetin fer determinats experiments. Ben cert viatges així s'adiuen amb el treball d'un científic; però no es tracta d'això. Es tracta de viatges adreçats a adquirir dades impossibles d'obtenir de cap altra manera per estudiar determinats problemes. N'hi ha hagut molts, principalment de relacionats, és clar, amb qüestions referents a les dimensions i forma de la Terra o altres problemes astronòmics. Però alguns, com veurem, fins i tot van ser útils per solucionar dubtes relacionats amb la teoria de la relativitat.

■ LA MESURA DEL SISTEMA SOLAR: ELS TRÀNSITS DE VENUS DE 1761 I 1769

Un problema que ja es va formular a la Grècia clàssica era el càlcul de la distància de la Terra al Sol o, dit amb una formulació més moderna, el del valor de la Unitat Astronòmica i les dimensions del Sistema Solar. La resposta va romandre molt imprecisa per més de 2.000 anys. D'una banda, els instruments de mesurament no permetien obtenir dades acurades. D'altra, el sistema astronòmic ptolemaic no facilitava gens trobar-la. Però amb la revolució científica van arribar nous

instruments (telescopis i micròmetres) més precisos i noves teories que permetien avançar.

Johannes Kepler (1571-1630) va ser el primer a calcular l'ocurrència d'un trànsit de Venus, és dir, la interposició de Venus entre el disc solar i la Terra. Va ser per a l'any 1631, encara que amb un marge d'error d'hores. La mecànica de Newton va permetre càlculs molt més acurats i es va veure que aquests trànsits només es produeixen per parells i separats per més de cent anys. Per això, la proposta d'Edmund Halley (1656-1742), segons la qual la paral·laxi solar i, consegüentment, la distància entre el Sol i la Terra es podia calcular amb força precisió a partir de les observacions dels trànsits de Venus, no es va poder comprovar immediatament (Halley, 1716). Va caldre esperar al primer parell de trànsits, que havien d'ocórrer el 1761 i 1769.

Les observacions de 1761, en part per la inexperiència, van ser bastant desafortunades. Tot i així, el físic rus Mikhaïl Lomonossov (1711-1765) va poder concloure l'existència d'atmosfera a Venus. Però els errors van servir d'experiència i per a l'any 1769 es va fer un desplegament com mai s'havia vist. Institucions de molts països van preparar observacions en el propi territori i expedicions a llocs on aquestes fossin més favorables (atès que és un fenomen que dura poques hores, és bo trobar llocs on es pugui observar cap a migdia). Precisament, l'any 1768, quan la Royal Society anglesa estava preparant les seves expedicions, van arribar les primeres notícies de Samuel

«ELS VIATGES DE LA FÍSICA
ESTAVEN ADREÇATS
A ADQUIRIR DADES
IMPOSSIBLES D'OBTENIR DE
CAP ALTRA MANERA PER
ESTUDIAR DETERMINATS
PROBLEMES»

Wallis sobre l'illa de Tahití. El lloc semblava ideal per a l'observació i es va organitzar una expedició sota el comandament de James Cook (1728-1779). Les observacions van fer-se puntualment en un lloc que encara es coneix com a punta Venus (Cook i Mohr, 1771).

A banda d'observar el trànsit de Venus, Cook havia rebut ordres de trobar i estudiar la «Terra Australis Incongnita», el continent que se suposava que s'havia de trobar en aquesta part de la Terra. No el va trobar; però en l'aspecte geogràfic i naturalístic sí que va recollir moltes dades noves de Nova Zelanda i d'Austràlia, llavors pràcticament desconegudes (Cook, 1922).

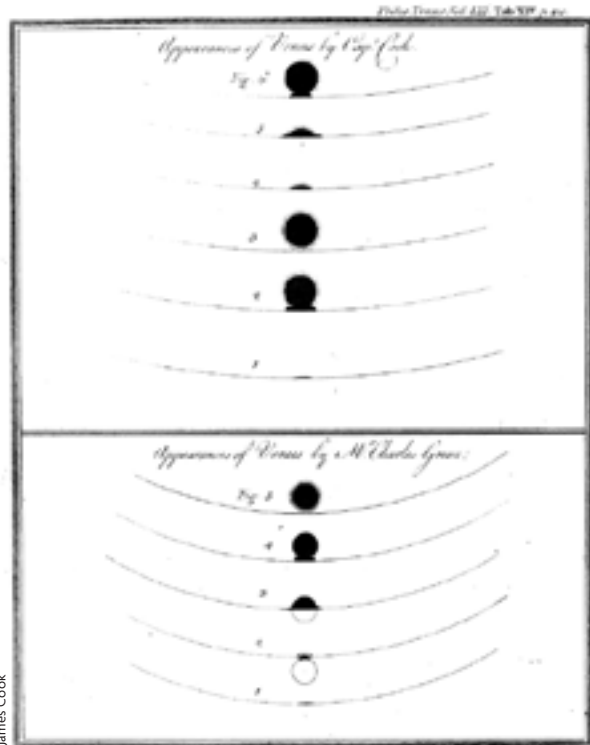
■ LA FORMA DE LA TERRA

Un dels resultats de la teoria gravitacional de Newton (1642-1727) era que la Terra no havia de tenir forma esfèrica, sinó d'el·lipsoide lleugerament aplanat als pols; per això, la mesura d'un grau de latitud no devia ser igual a tot arreu. Però les mesures obtingudes per

«EL 1769 ES VA FER UN DESPLEGAMENT COM MAI S'HAVIA VIST PER OBSERVAR ELS TRÀNSITS DE VENUS. INSTITUCIONS DE MOLTS PAÏSOS VAN PREPARAR OBSERVACIONS EN EL PROPI TERRITORI I EXPEDICIONS A LLOCS ON AQUESTES FOSSIN MÉS FAVORABLES»

l'astrònom G. D. Cassini (1625-1712), director de l'observatori de París, apuntaven a una forma aplanada a l'equador. Donat el prestigi de Cassini i la reconeguda qualitat de les seues mesures, però també el de Newton, l'Académie des Sciences francesa va decidir realitzar un experiment que permetés resoldre l'enigma. Concretament mesurar la longitud d'un arc de meridià a dos llocs on les suposades diferències fossin màximes, per tal de minimitzar els possibles errors. Es van escollir Lapònia, terra encara accessible prou a prop del pol Nord, i el virregnat del Perú, llavors part de l'Imperi espanyol, situat a l'equador mateix, i es van organitzar dues expedicions simultànies per fer les mesures.

L'expedició al nord estava comandada per Pierre-Louis de Maupertuis (1698-1759); va sortir de París l'abril de 1736 i va tornar el juliol de 1737. Les mesures que va prendre confirmaven la hipòtesi de Newton. A més, no es va desaproveitar l'oportunitat per recollir informació naturalística i etnogràfica. L'expedició al



James Cook

Observació dels diferents contactes del trànsit de Venus realitzada per James Cook i publicada a *Philosophical Transactions*. S'hi observa l'anomenat efecte de gota negra, que fa molt difícil determinar el temps exacte del contacte i que ara sabem que és, principalment, degut a una manca de qualitat de les òptiques utilitzades.



Làmina extreta de JUAN, J. I. A. ULLOA, 1748

Encara que l'objectiu del viatge fos una observació geodèsica, és clar que els nostres observadors del Perú (i podem estendre-ho a qualsevol expedició) no van perdre oportunitat d'anotar qualsevol altra informació naturalística, etnogràfica, etc. Entre les pàgines que descriuen els treballs per la mesura del meridià podem trobar aquestes sobre les ruïnes dels inques. També al mateix viatge La Condamine va escriure un tractat sobre la quinina.



National Oceanic and Atmospheric Administration (EUA)



National Oceanic and Atmospheric Administration (EUA)



National Oceanic and Atmospheric Administration (EUA)

A l'esquerra, dibuixos d'unes de les tantes aurores boreals observades durant el primer any polar internacional per l'expedició austríaca a l'illa de Jan Mayen (Noruega). A la dreta, mostrant el ventall ampli d'interessos, observacions de la flora àrtica.

virregnat del Perú estava comandada per Charles Marie de La Condamine (1701-1774) i en formaven part, entre altres, Pierre Bouguer (1698-1758) i Louis Godin (1704-1760). Arribats a Amèrica s'hi van afegir dos oficials de marina espanyols: el valencià Jordi Juan (1713-1773) i el sevillà Antonio de Ulloa (1716-1795).

Els treballs a Amèrica van resultar molt més difícils que a Lapònia. Els viatgers van haver de realitzar observacions en condicions tropicals a la costa i altres d'alta muntanya a la neu. Si hi afegim desavinences entre uns i altres (en alguns moments van marxar totalment per separat) entenem que la campanya s'allargués fins l'any 1744. La tornada cadascú la va fer pel seu costat i cal notar que La Condamine, en comptes de desfer camí, va seguir el curs de l'Amazones fins a Pará i d'allà va tornar a París, on va arribar el febrer de 1745 (Lafuente i Mazuecos, 1987).

Apart de les mesures que van confirmar la hipòtesi de Newton, en aquest viatge se'n van fer moltes de la força de la gravetat i, per primera vegada, de l'anomalia gravitatòria que es detecta prop de les muntanyes (coneguda precisament com anomalia de Bouguer). També es prengueren moltes mesures meteorològiques i d'altres fenòmens presenciats així com observacions naturalístiques (Juan i Ulloa, 1748).

Una continuació d'aquest tipus de treballs va ser la mesura de l'arc meridià de París a Barcelona per definir el metre, que es prolongaria tot el segle XIX per allargar la mesura del meridià des de les illes Shetland fins a Laghouat, a Algèria, 27 graus en total. Fou una empresa plena d'aventures, moltes passades a les nostres terres, però no entrarem a descriure-la.

■ LA METEOROLOGIA: ELS ANYS POLARS

El segle XIX és el del gran desplegament de la meteorologia. Val a dir que això és degut no tant a grans progressos científics en la disciplina com a la invenció i utilització del telègraf. Aquest invent va permetre comparar dades simultànies en temps quasi real i, per tant, l'anàlisi de l'atmosfera en grans àrees, obrint pas a la comprensió de la circulació dels ciclons. A la segona meitat del segle es creen quasi tots els grans serveis meteorològics nacionals i s'organitzen les xarxes d'intercanvi de dades. Ja l'any 1870, després de diferents temptatives, s'estableix l'Organització Meteorològica Internacional.

Atès que quasi tots els serveis es trobaven, a l'època, a l'hemisferi nord, aviat es va veure la forta relació que s'establí entre les grans depressions hivernals que afectaven Europa i les zones polars. Com que aquestes



EL SEGLE DELS ECLIPSIS A LA PENÍNSULA IBÈRICA

La península Ibèrica es va veure afavorida entre finals del segle XIX i primers anys del segle XX amb tres eclipsis de Sol visibles com a totals en alguna zona d'aquesta: 18 de juliol de 1860, 28 de maig de 1900 i 30 d'agost de 1905. Els eclipsis sempre han estat moments per comparar observacions i previsions. El moviment de la Lluna respecte a la Terra, per exemple, ha estat el primer a ser descrit i l'últim a ser acuradament calculat (Amengual *et al.*, 2005). El problema rau en la mateixa proximitat del nostre satèl·lit i la influència molt apreciable del Sol. És el que s'anomena el problema dels tres cossos,

«DOS ELEMENTS NOUS VAN REFORÇAR L'INTERÈS PELS ECLIPSIS A FINALS DEL SEGLE XIX I PRINCIPIS DEL XX: LA FOTOGRAFIA I L'ESPECTROSCÒPIA»

que no té solució analítica. Per això tots els eclipsis s'utilitzen per comprovar fins a quin grau són acurades les nostres previsions.

Però dos elements nous van reforçar l'interès dels eclipsis en aquells anys. El primer va ser la fotografia. L'any 1842 s'havia obtingut el primer daguerreotip d'un eclipsi. A partir d'aquell moment ja es podien «congelar» aquells segons fantàstics per a estudis posteriors. El segon va ser l'espectroscòpia. Ja l'any 1840 es van



Extret de Flammarion, 1910

Imatge de l'eclipsi de 1900 vist des del Palmerar d'Elx. L'apunt va ser fet per l'expedició de T. Moreux.

es trobaven llavors desproveïdes d'estacions meteorològiques (i també de telègrafs que poguessin fer d'utilitat les seves dades), no és gens estrany que quan l'austriac Carl Weyprecht (1838-1881) va proposar d'organitzar una campanya d'un any d'observacions polars s'acollís la idea immediatament. Així, un conjunt de campanyes d'observació en llocs amb condicions realment extremes va ser coordinada, per primera vegada, per una organització internacional i no directament pels estats (Batlló, 2008).

Aquesta campanya va tenir lloc entre 1882 i 1883 amb la participació de dotze països. Per dur-la a terme va caldre coordinar molts aspectes, dissenyar metodologies d'observació homogènies (a l'època encara no totalment estandarditzades) i crear instruments nous (els termòmetres d'alcohol preferentment utilitzats a l'època, per exemple, es congelaven, i el mateix ocorria amb els psicròmetres ordinaris). Es va definir tota una metodologia per a observar les aurores boreals.

I els viatges van ser totalment d'aventura! Es pot comprovar a les memòries originals de les diferents expedicions, recentment digitalitzades.¹ Per exemple, l'expedició nord-americana a la badia de Lady Franklin va haver de ser rescatada dos anys més tard.

Els resultats de l'experiència, sense ser enlluernadors, van ser útils, de manera que entre 1932 i 1933, amb motiu dels cinquanta anys del primer, es va organitzar un segon any polar internacional, ja amb cobertura als dos hemisferis, i amb altres mitjans. Encara els anys 1957 i 1958 es va repetir, amb una volada tal que es va designar com a any geofísic internacional. De fet, sense tenir el caràcter d'epopeia del primer, va ser el projecte de col·laboració científica internacional més gran mai realitzat fins aquell moment. Només cal recordar que el llançament del primer satèl·lit artificial,

¹ Poden ser consultades en la següent pàgina web: <http://www.arctic.noaa.gov/aro/ipy-1/index.htm>



Exploratorium

Un nou fet que començà a generalitzar-se als eclipsis del segle xx fou el turisme científic. A la imatge veiem observadors de l'eclipsi de 1900 a Elx.

fer els primers intents per estudiar l'espectre solar. L'interès per saber-ne la constitució va portar al descobriment de l'heli, l'any 1868, i al fals descobriment del «coronium» (com a suposat element químic constituït de la corona solar), l'any 1869.

Així, els tres eclipsis amb fase de totalitat a la Península van ser dels més concorreguts pels observadors nacionals o estrangers en qualsevol moment de la història (Ruiz-Castell, 2008). Tots els noms importants de l'astronomia de l'època (Angelo Secchi, Norman Lockyer, Jules Janssen, etc.) hi van ser presents. En concret, a l'eclipsi de 1860 Secchi va posicionar-se al Desert de les Palmes, prop de Castelló, i, a partir de les seves observacions, va descartar definitivament que la corona fos un efecte lligat a la Lluna com s'havia pensat fins l'època.

Un últim element que cal destacar llavors és l'aparició, principalment a partir dels eclipsis de 1900 i 1905, d'un nou fenomen: el turisme científic.

J. B.

l'*Sputnik*, va formar part de la col·laboració de la Unió Soviètica al projecte.

Més recentment, entre 2007 i 2009, es va realitzar un nou «any polar», si bé va consistir més en una intensificació de les observacions i experiments realitzats des d'observatoris ja existents que en campanyes «d'aventura» a l'estil dels anteriors.

■ CONFIRMANT LA TEORIA DE LA RELATIVITAT

Ja l'any 1911 Albert Einstein havia postulat que la llum provinent de les estrelles era desviada al passar prop del Sol. Atesa la impossibilitat, a l'època, d'observar les estrelles prop del Sol (problema que no es va resoldre fins el 1931, amb la invenció del coronò-

«UN PRIMER INTENT DE MESURAR LES DESVIACIONS DE LA LLUM DE LES ESTRELLES DURANT L'ECLIPSI DE 1914 ES VA VEURE FRUSTRAT PER L'INICI DE LA PRIMERA GUERRA MUNDIAL»



F. W. Dyson

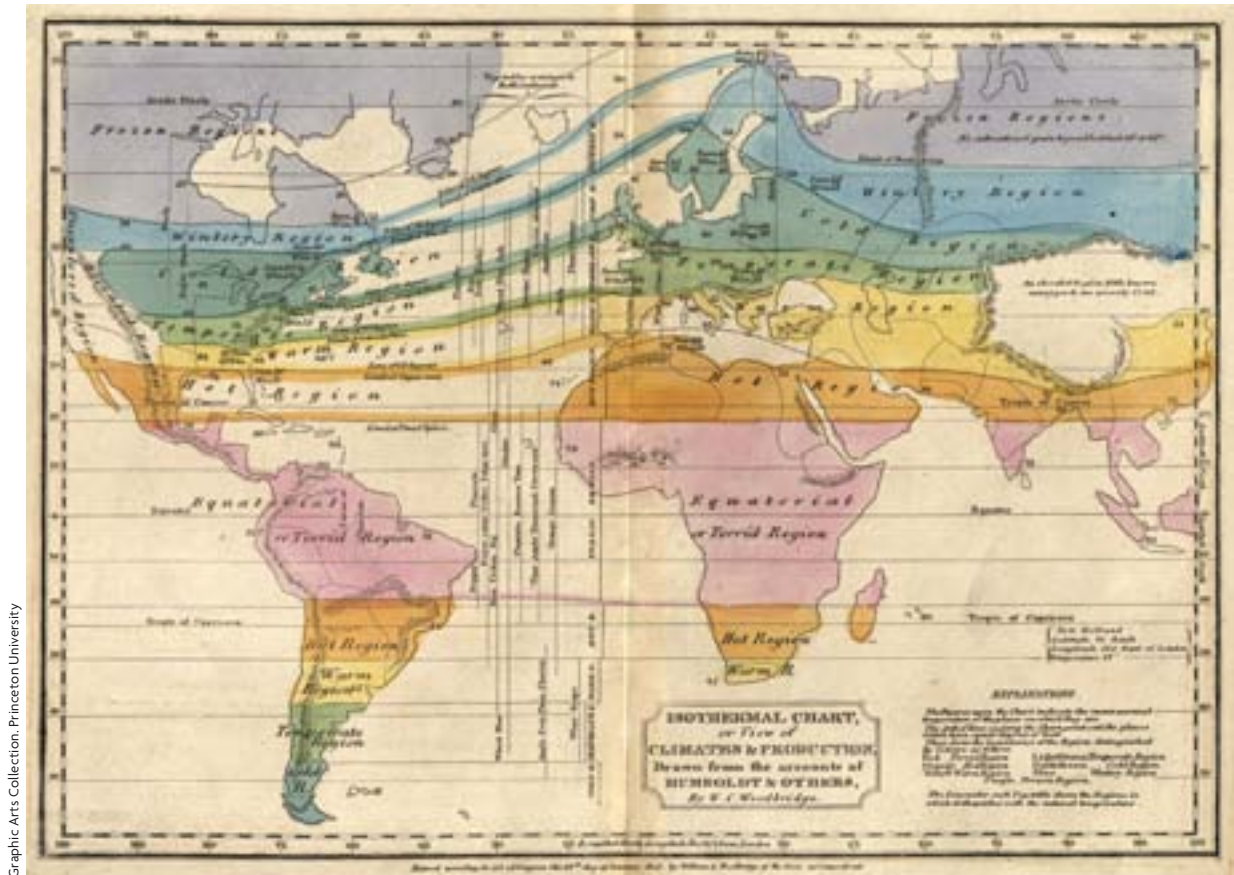
Una de les fotografies més famoses d'un eclipsi solar. La que va prendre F. W. Dyson a Sobral, Brasil, l'any 1919. Els dobles guions horitzontals que s'intueixen a diferents llocs marquen on es troben les estrelles objectiu de l'estudi.

graf per Bernard Lyot), l'única possibilitat d'observar i mesurar el fenomen era durant els pocs minuts dels eclipsis. Un primer intent de mesurar aquestes desviacions durant l'eclipsi de 1914 es va veure frustrat per l'inici de la Primera Guerra Mundial. Així, tot i que l'expedició enviada per l'observatori de Greenwich ja es trobava a Rússia i els astrònoms van poder tornar a Anglaterra, el 1919 encara no havien recuperat el material enviat.

El primer eclipsi total de Sol després de la guerra es produïa el 29 de maig de 1919 a la zona equatorial de l'oceà Atlàntic. La Royal Society va preparar dues expedicions: una a Sobral, a la costa del Brasil, liderada per Frank Watson (1868-1939), director de l'Observatori de Greenwich, i una altra a l'illa del Príncep, a la costa africana, conduïda per Arthur Eddington (1882-1944), director de l'observatori de Cambridge. El mal temps i diferents problemes amb els instruments van estar a punt de fer fracassar les expedicions. Finalment, però, les mesures van confirmar els postulats d'Einstein (Dyson *et al.*, 1920).



Juan Olivares. *Viaatge al centre de la Terra VI*, 2013. Acrílic sobre paper, 21,5 x 28,5 cm.



Graphic Arts Collection, Princeton University

Mapa hemisfèric de temperatures d'Alexander von Humboldt. Versió acolorida de Woodbridge. La realització d'aquest mapa, en una època en què les estacions meteorològiques encara no eren comunes, va ser possible mitjançant l'acumulació de dades obtingudes en els diversos viatges de molts estudiosos.

■ A MANERA D'EPÍLEG

Si ens hi fixem, podem trobar algunes característiques especials en els viatges de la física. La primera és que en gran part són viatges coordinats; diferents grups van a llocs diferents. El motiu és obvi. No es necessita una mesura, sinó que necessitem comparar les mateixes mesures obtingudes a llocs diferents.

Així mateix, ateses les dimensions de l'empresa, és també normal trobar-hi darrere grans institucions científiques en comptes d'interessos personals d'un científic. Encara que hi ha excepcions notòries com, per exemple, els viatges d'Alexander von Humboldt (1769-1859), amb multitud d'observacions meteorològiques i magnètiques que mostren l'amplitud del seus interessos. ☺

BIBLIOGRAFIA

AMENGUAL, A.; PONS, G. X. i J. MARCH (eds.), 2005. *Conferències de les Jornades de Commemoració i Estudi de l'eclipsi total de Sol a la Mallorca de 1905*. Societat d'Història Natural de les Balears. Palma.
BATLLÓ, J., 2008. «Notes on the History of International Polar Years in Catalonia and Spain». *Tethys*, 5: 47-57. DOI: <10.3369/tethys.2008.5.05>.

COOK, J., 1922. *James Cook comandante del "Endeavour": relación de su primer viaje alrededor del mundo durante los años 1768, 1769, 1770 y 1771*. Calpe. Madrid.
COOK, J. i J. M. MOHR, 1771. «Transitus Veneris & Mercurii in Eorum Exitu e Disco Solis, 4to Mensis Junii & 10mo Novembris, 1769, Observatus. Communicated by Capt. James Cook». *Philosophical Transactions*, 61: 433-436. DOI: <10.1098/rstl.1771.0046>.
DYSON, F. W.; EDDINGTON, A. S. i C. DAVIDSON, 1920. «A Determination of the Deflection of Light by the Sun's Gravitational Field, from Observations Made at the Total Eclipse of May 29, 1919». *Philosophical Transactions. Series A*, 220: 291-333. DOI: <10.1098/rsta.1920.0009>.
FLAMMARION, C., 1910. *Astronomy for Amateurs*. D. Appleton & Company. Nova York. Disponible a <http://www.gutenberg.org/files/25267/25267-h/25267-h.htm>.
HALLEY, E., 1716. «A New Method of Determining the Parallax of the Sun, or His Distance from the Earth». *Philosophical Transactions*, 29(338-350): 454-464. DOI: <10.1098/rstl.1714.0056>.
JUAN, J. i A. ULLOA, 1748. *Relacion histórica del viage a la América Meridional ... para medir algunos grados de meridiano terrestre ...* Antonio Marin. Madrid. Disponible a la web de la Biblioteca Nacional d'Espanya: <http://www.bne.es/es/Micrositios/Guias/12Octubre/CienciaExploracion/JorgeJuan/SeleccionObras/>.
LAFUENTE, A. i A. MAZUECOS, 1987. *Los Caballeros del Punto Fijo*. Serbal. Barcelona.
RUIZ-CASTELL, P., 2008. *Astronomy and Astrophysics in Spain (1850-1914)*. Cambridge Scholars Publishing. Newcastle.

Josep Batlló. Investigador de l'Institut Dom Luiz. Universitat de Lisboa.