

L'OBSERVACIÓ DEL SOL A LA SEGONA MEITAT DEL SEGLE XIX

RICARD CASAS
Institut de Ciències de l'Espai (IEEC-CSIC)

The observation of the Sun in the second half of the 19th century

A la segona meitat del segle XIX, diversos astrònoms van observar el Sol mitjançant diverses tècniques i van determinar les coordenades de les taques. Aquestes dades van ser publicades en el seu moment, però com que formaven part de llargues taules, no han sigut emprades. En aquest article es presenta el treball de conversió de les dades a un format electrònic llegible per a ordinadors i una primera anàlisi per comprovar la seva coherència.

Paraules clau: sol, dades històriques, Richard C. Carrington, Warren de la Rue, Christian H. F. Peters.

In the second half of the nineteenth century many astronomers observed the Sun using various techniques and determined the coordinates of the sunspots. These data were published at that time, but given that they were part of long tables, they haven't been used later. This communication presents the work to convert these data to an electronic format readable by computer and a first analysis of them to check their consistency.

Keywords: sun, historical data, Carrington, de la Rue, Peters.

Introducció

La física solar va tenir una important evolució durant el segle XIX. El 1843, Samuel H. Schwabe (1789-1875) va descobrir el cicle solar després de 17 anys d'observacions continuades. Dos anys més tard, Louis Fizeau (1819-1896) i Léon Foucault (1819-1868) van prendre les primeres fotografies del Sol. El 1848, Rudolf Wolf (1816-1893) va introduir l'índex d'activitat solar que actualment encara s'utilitza de forma molt àmplia. Per altra banda, el 1852, Wolf va publicar el període del cicle solar basant-se en la recopilació d'observacions que s'havien realitzat des de 1750. Un any més tard, Richard C. Carrington (1826-1875) va establir el període de rotació del Sol mitjançant l'observació de les taques, amb el valor de 27,2753 dies, dada que encara és emprada avui dia i que serveix per establir el número de la rotació, que porta el nom de Carrington. El 1861, el mateix astrònom descobreix el que posteriorment s'anomenaria llei de Spörer, segons la qual la latitud on es troben les taques disminueix en transcórrer el cicle solar, passant de latituds de 30° o més (a ambdós hemisferis) a l'equador quan el cicle toca a la seva fi.

Per altra banda, diversos astrònoms van realitzar llargues sèries d'observacions durant aquest segle, entre els quals destaquen Samuel H. Schwabe, que va observar l'astre entre 1826 i 1843, Richard C. Carrington, que ho va fer entre 1853 i 1861, Christian H. F. Peters, entre 1860 i 1870, Warren de la Rue, entre 1862

i 1866, i la llarga sèrie realitzada des de l'Observatori de Greenwich, que es va estendre des de 1874 fins a 1976. Els dibuixos realitzats per Schwabe han sigut publicats recentment en format digital (Arlt, 2011), mentre que les dades del Greenwich Photoheliographic Results van ser analitzades per Balthasar et al. (1986). Així doncs, queden les dades de Carrington, Peters i de la Rue, que són el motiu d'aquesta presentació.

Richard C. Carrington

Va néixer a Londres el 1826 i va morir a Churt (Regne Unit) el 1875. Va ser un astrònom amateur que havia estudiat al Trinity College i que havia sigut observador a la Universitat de Durham. Les seves observacions del Sol les va portar a terme des de l'Observatori de Redhill, situat al sud de Londres. Entre altres descobriments, va realitzar la primera observació d'una fulguració solar en llum blanca el 1859 i va determinar el període de rotació del Sol. Per la seva important tasca se li va concedir la medalla d'or de la Royal Astronomical Society (1859) i el premi Lalande de l'Académie des Sciences francesa (1864).

El seu treball d'observació i determinació de la posició de les taques solars el va publicar en el llibre *Observations of the spots on the Sun from November 9, 1853, to March 24, 1861, made at Redhill*, en una taula de 101 pàgines i 4.900 registres. Les dades que figuren per a cada registre són: data, dia de l'any, número del registre, distància del grup de taques del centre del disc solar prenent com a unitat el radi del mateix, angle de posició de la línia que uneix el centre amb la taca prenent com a referència el nord i mesurant cap a l'est, longitud del node, longitud i latitud heliogràfiques, i una referència al grup al qual pertany.

Christian H. F. Peters

Va néixer a Schleswig-Holstein (part de Dinamarca aleshores i d'Alemanya actualment) el 1813 i va morir a Utica, a l'estat de Nova York, el 1890. Durant la seva formació acadèmica, va estudiar sota la direcció de Gauss i va treballar al Hamilton College, emprant l'observatori situat en el seu campus, anomenat Leitchfield Observatory, el qual estava equipat amb un telescopi refractor de 13,5 polzades i una relació focal de 13.3. Va ser el descobridor de 48 asteroides i codescobridor del cometa periòdic 80P/Peters-Hartley.

Les seves observacions solars van ser publicades el 1907, després de la seva mort, en un llibre titulat *Heliographic Positions of Sun-Spots*. La taula amb les dades ocupa 170 planes i hi ha 14.040 entrades. L'editor de la publicació, Edwin B. Frost, inclou la traducció (a l'anglès) de diversos treballs publicats per Peters a la revista alemanya *Astronomische Nachrichten*, així com notes preses durant l'observació i l'anàlisi de les mesures fetes, per tal de donar al lector la màxima informació entorn de les dades publicades.

El format de les dades és diferent al de Carrington i vénen donades amb la data, les coordenades cartesianes en forma d'increment d'angle horari (en segons) i declinació (en segons d'arc) respecte al centre del disc solar, latitud i longitud heliogràfiques, i longitud del node.

Warren de la Rue

Va néixer a Guernsey (Regne Unit) el 1815 i va morir a Londres el 1889. Va estudiar a París i va ser pioner en el camp de l'astrofotografia. El 1858, va inaugurar el fotoheliògraf de Kew (Londres). El 18 de juliol de 1860 es trobava a terres espanyoles, a prop de Miranda de l'Ebro, per a l'observació de l'eclipsi de sol, obtenint fotografies amb un fotoheliògraf. El mateix any va ser escollit *fellow* de la Royal Society i el 1862 va obtenir la medalla d'or de la Royal Astronomical Society i la medalla reial. De 1864 a 1866 va ser president de la Royal Astronomical Society. Les observacions solars les va fer des de l'Observatori de Kew mitjançant el fotoheliògraf.

A partir de les fotografies obtingudes, va determinar la posició de les taques i les va publicar en dos articles en les *Philosophical Transactions* de la Royal Astronomical Society sota els títols: *Researches on Solar Physics: Heliographical Positions and Areas of Sun-spots observed with the Kew Photoheliograph during the years 1862 and 1863* i *Researches on Solar Physics – No. 2: The Positions and Areas of Sun-spots observed with the Kew Photoheliograph during the years 1864, 1865 and 1866, also the Spotted Area of the Sun's visible disk from the commencement of 1832 up to May 1868*. El registre de posicions ocupa 138 planes amb 7.701 registres amb el mateix format que les dades de Carrington.

Les observacions i la seva «lectura»

Les observacions dels tres astrònoms cobreixen el període 1853-1871 i coincideixen en certes dates, com mostra la figura 1. Els quatre articles s'han trobat en format PDF a través de la xarxa amb la qualitat suficient per ser «llegits» amb un programari comercial de reconeixement òptic de caràcters (OCR Abbyy FineReader 10). Malgrat això, la tipografia de la segona meitat del segle XIX i els defectes d'impressió han fet necessària una comprovació global de les dades, una petita part de la qual s'ha fet visualment i manual, i la resta de forma informatitzada mitjançant el creuament de dades. També cal tenir en compte que aquest volum de dades va ser introduït manualment en la seva època i pot tenir errors de transcripció. En alguns casos són evidents, però en d'altres no. Com a exemples tenim casos com un angle més gran de 360°, que evidencia un error de transcripció fàcilment corregible, però també signes canviats, que són més difícils de detectar.

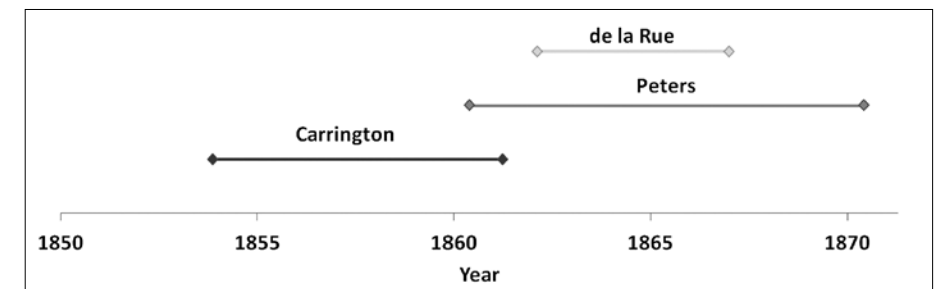


Figura 1. Cronograma de les observacions realitzades per R. Carrington, Ch. Peters i W. de la Rue, motiu d'aquest treball.

Comprovació de les dades

Les efemèrides necessàries per a l'anàlisi de les dades solars s'han obtingut per dues vies diferents que s'han creuat per comprovar la seva coherència a l'hora de calcular-les per a les dates d'interès. Per una banda, s'ha emprat el codi *sun.pro* en llenguatge IDL que està basat en els algorismes descrits a Meeus (1988) i, per una altra, la web d'Horizons (<http://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi>) del Jet Propulsion Laboratory (Giorgini et al., 1996).

Les diferències entre la longitud i latitud subterrestres calculades amb ambdós mitjans evidencien unes petites diferències que es mostren a la figura 2. La diferència entre les latituds calculades apunta un patró sinusoidal que té una amplitud de $0,04^\circ$ i un període d'un any, mentre que la diferència de longituds mostra un desplaçament de $+0,126^\circ \pm 0,005^\circ$ en el sentit efemèrides calculades mitjançant la plana web Horizons menys les calculades amb el codi *sun.pro*. No s'ha comprovat si aquestes diferències es mantenen per a dates actuals, però donades les fonts de cadascun del codis, s'ha decidit emprar les efemèrides obtingudes a partir de la web d'Horizons.

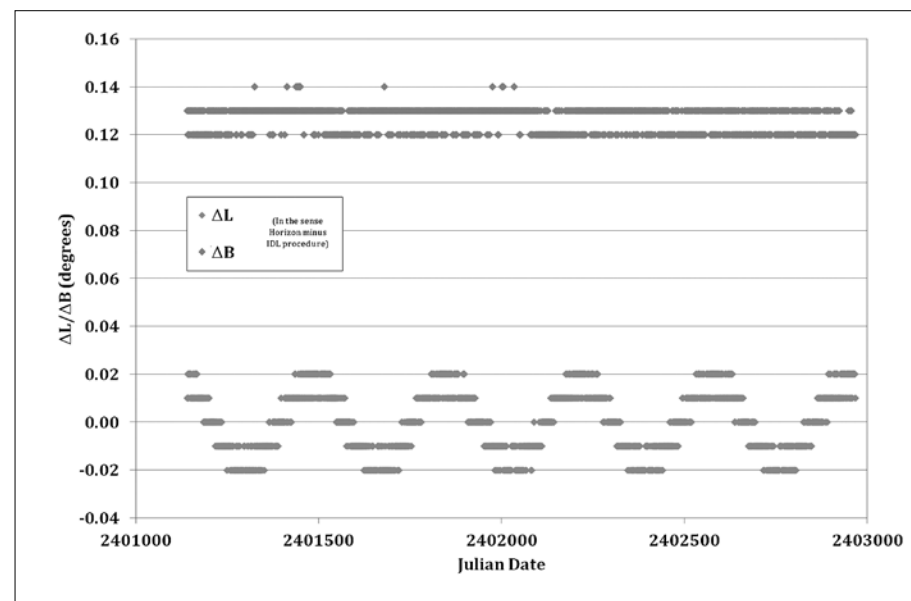


Figura 2. Diferències entre les efemèrides de les coordenades heliogràfiques del punt subterrestre obtingudes amb el codi *sun.pro* (Meeus, 1988) i el web Horizons (Giorgini, 1996). La diferència s'ha calculat en el sentit Horizons menys *sun.pro*. S'evidencia un increment de poc més de $0,12^\circ$ en la longitud i una variació sinusoidal amb un període d'un any i una amplitud de $0,04^\circ$.

Les dades de Carrington i de la Rue s'han analitzat seguint el mateix esquema, atès que tenen els mateixos paràmetres. Així, a partir de la distància dels focus al centre del disc en unitats de radi solar (ρ) i l'angle de posició de la taca (ϑ) respecte al nord i mesurat cap a l'est, s'han obtingut la longitud (L) i la latitud (b) heliogràfiques emprant els codis elaborats i emprats per a la determinació de les mateixes magnituds a partir dels dibuixos obtinguts per Galileu el 1612 (Casas, 2006) i que van ser presentats a la I Jornada d'Història de l'Astronomia i de la Meteorologia el 2005:

$$\rho, \vartheta \rightarrow L, b$$

A les dades de Peters, s'ha partit d'unes coordenades cartesianes en forma d'increment en angle horari $\Delta\alpha$ i declinació $\Delta\delta$, donat en segons i segons d'arc respectivament. Això fa que hàgim hagut de calcular també la declinació del Sol en el moment de l'observació emprant la mateixa font d'efemèrides (Horizons):

$$\Delta\alpha, \Delta\delta \rightarrow L, b$$

Les dades de Peters han tingut problemes afegits. L'hora indicada en les observacions era l'hora mitjana a Clinton (Nova York), lloc d'observació. Sortosament, el mateix document dona les coordenades de l'observatori. D'altra banda, les zero hores no corresponen a la mitjanit, sinó al migdia i, finalment, Peters va emprar un sistema propi per mesurar la longitud heliogràfica amb una velocitat de rotació diferent a la de Carrington, emprada també per de la Rue, i en sentit contrari. Afortunadament, el document també inclou una taula que relaciona ambdós sistemes i que es pot ajustar linealment, per aconseguir així un canvi d'aquesta coordenada.

Obtingudes les longituds i latituds per a cada observació a partir de les dades secundàries, s'han restat del valor tabulat per l'autor. Les dades amb diferències més grans a 3σ s'han comprovat per intentar esbrinar l'origen de la discrepància (error de lectura o de transcripció) i s'han corregit si s'esqueia. A la taula 1 es mostren els valors mitjans de les diferències en longitud, latitud i distància, expressades en graus, i el nombre de dades que finalment han estat rebutjades per no complir el criteri. La distància s'ha calculat mitjançant l'equació $\Delta d = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta B^2}$.

	ΔL	ΔB	Δd	N > 3 σ
Carrington	$-7,99 \pm 0,14$	$-0,01 \pm 0,14$	$7,99 \pm 0,14$	37 (0.8%)
Peters	$7,15 \pm 6,62$	$0,01 \pm 2,49$	$7,15 \pm 6,76$	84 (0.6%)
de la Rue (abans de 1864)	$-7,39 \pm 5,04$	$0,01 \pm 1,66$	$7,91 \pm 4,50$	
de la Rue (després de 1863)	$-8,68 \pm 8,71$	$1,04 \pm 6,73$	$11,93 \pm 7,43$	
de la Rue (tot)	$-8,07 \pm 7,24$	$0,55 \pm 5,04$	$10,03 \pm 6,53$	188 (2.5%)

Taula 1. Diferències en les longituds, latituds i distàncies (segons la definició assenyalada en el text) entre les dades calculades i les donades pels autors. A la darrera columna s'indica el nombre d'observacions que han de ser rebutjades en cada cas.

En el cas de la longitud, s'evidencia la presència d'un valor discrepant: dos d'ells tenen signe negatiu —cal tenir en compte que el valor està donat en el sentit posició tabulada menys posició calculada—, però els valors absoluts són similars. El valor que està en dissonància és precisament el de Peters, per al qual s'han hagut de fer les correccions abans citades. A hores d'ara desconexim la raó d'aquesta discrepància, per a la qual s'han investigat possibles orígens, com errors en la data final obtinguda després de calcular l'hora d'observació referida a Greenwich. Una diferència d'un dia equival de mitjana a $14,2^\circ$, que és de l'ordre de la diferència trobada. Pel què fa a la latitud, la diferència és compatible a zero en tots els casos.

Les distribucions de les diferències en longitud i latitud obtingudes per Carrington (figura 3) mostren que la segona presenta tres pics atribuïbles a l'arrodoniment a una xifra decimal, mentre que la primera només mostra un clar pic. En el cas de Peters, la desviació estàndard és força més gran, però les distribucions també mostren pics clars (figura 4).

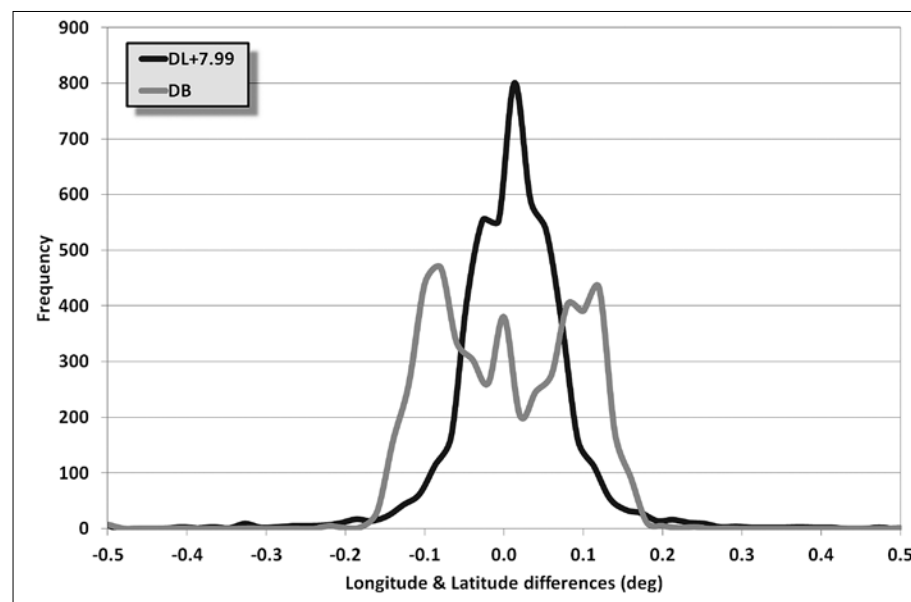


Figura 3. Distribució de les diferències entre la longitud i latitud calculades per Carrington i les calculades a partir de les magnituds secundàries. Mentre que la longitud presenta un clar pic, la latitud presenta tres pics que tenen a veure amb l'arrodoniment a una xifra significativa.

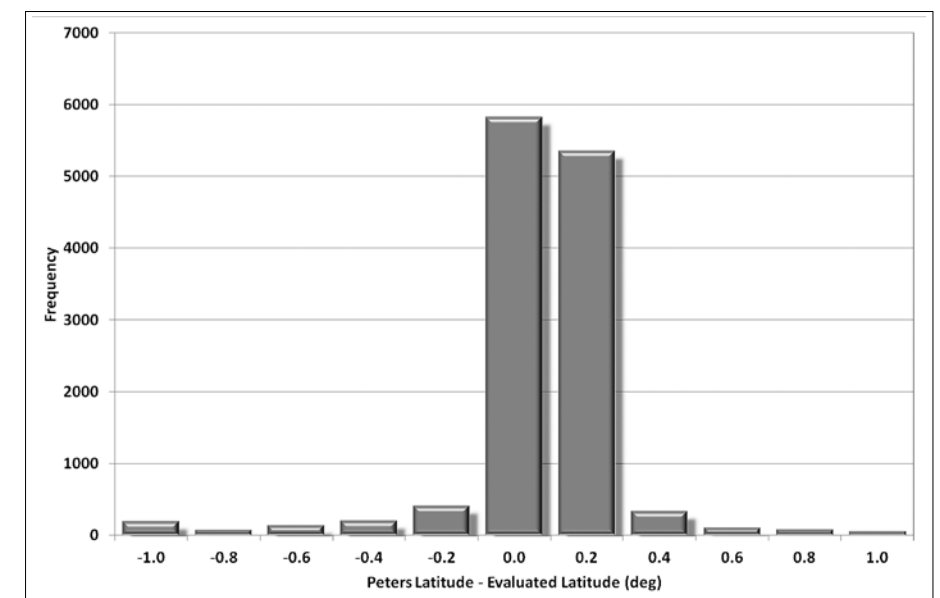
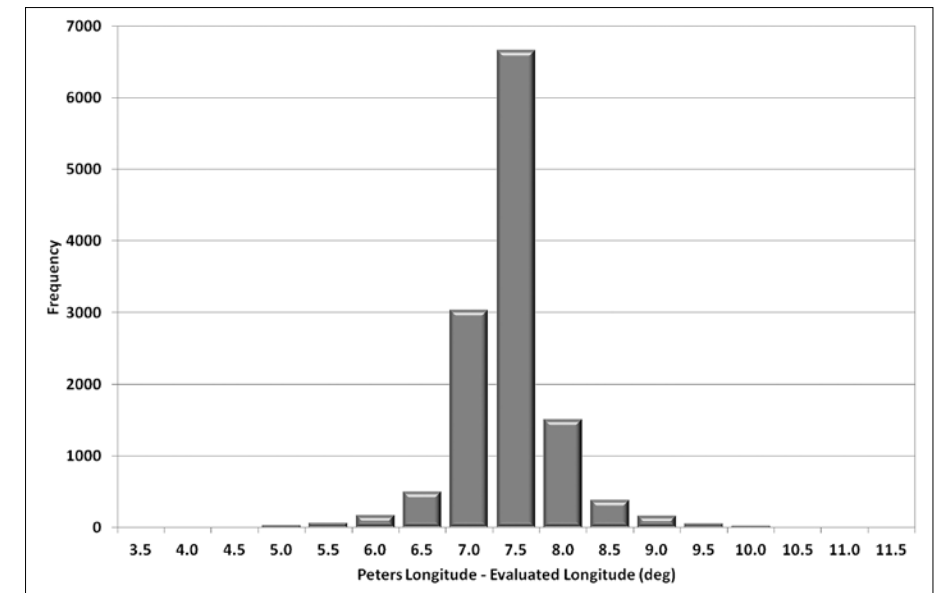


Figura 4. Distribucions de les diferències entre la longitud i la latitud determinades per Peters i les que hem calculat a partir de les magnituds secundàries. En aquest cas, es mostra un clar pic per a cada coordenada.

La distribució temporal de la longitud de les dades de de la Rue és un cas apart (figura 5). Els dos primers anys d'observació, que corresponen al primer article, mostren una distribució homogènia, però a partir de l'1 de gener de 1864 mostren una clara distribució sinusoidal, el període de la qual és un any, i l'amplitud es correspon amb el valor de la latitud heliogràfica del punt subterrestre. Queda palès que, en el moment de calcular les coordenades heliogràfiques de les taques, de la Rue i els seus col·laboradors van ometre aquesta correcció. Si a les posicions calculades per de la Rue a partir de 1854 li restem la latitud subsolar (figura 6) veiem que, malgrat que desapareix el comportament sinusoidal, les dades mostren més dispersió que no pas en l'època anterior. La taula 2 mostra els valors obtinguts en aquest cas en contra dels que es mostren a la taula 1 només per les dades de de la Rue.

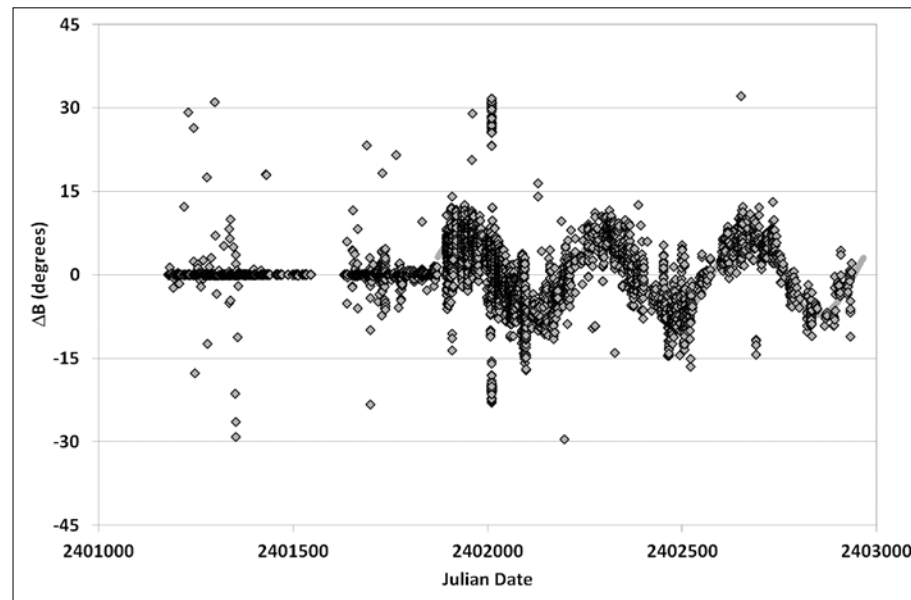


Figura 5. Distribució temporal de la diferència entre la latitud heliogràfica publicada per de la Rue i el valor obtingut mitjançant les magnituds secundàries. Es fa palès que, a partir d'un cert moment, l'1 de gener de 1864, les diferències mostren un comportament sinusoidal que té la mateixa amplitud que el valor i fase de la latitud del punt subterrestre. Això fa creure que aquest valor no va ser restat als resultats quan de la Rue i els seus col·laboradors ho van calcular.

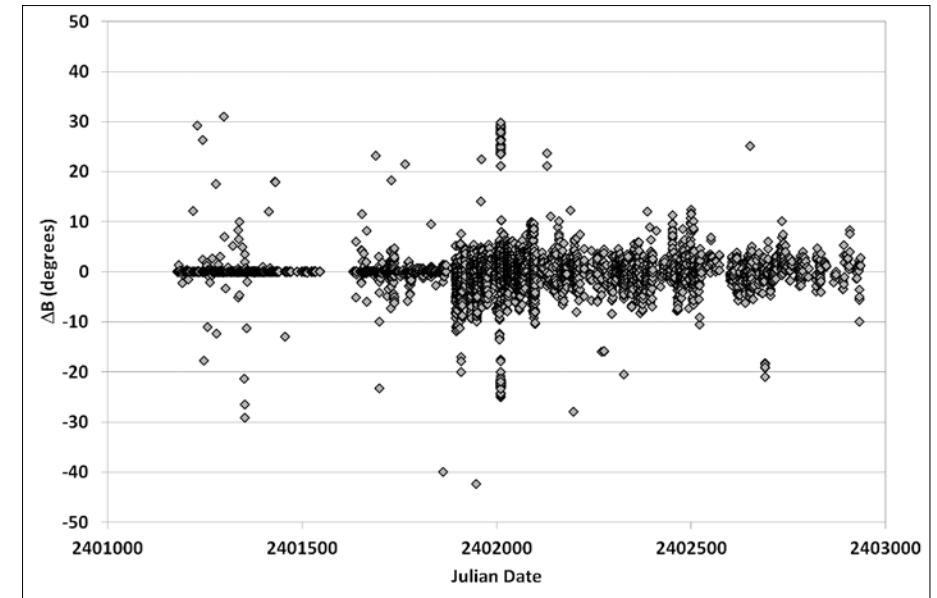


Figura 6. Evolució temporal de la diferència entre la latitud calculada per de la Rue i la nova, de la qual s'ha restat la latitud subterrestre corresponent menys la calculada a partir de les magnituds secundàries. Les dades publicades en la segona obra de de la Rue mostren una dispersió més elevada.

	ΔL	ΔB	Δd	$N > 3\sigma$
de la Rue (abans 1864)	$-7,39 \pm 5,04$	$0,01 \pm 1,66$	$7,92 \pm 4,54$	
de la Rue (després 1863)	$-8,68 \pm 8,71$	$-0,18 \pm 5,20$	$10,86 \pm 7,43$	
de la Rue (tot)	$-8,07 \pm 7,24$	$-0,10 \pm 3,98$	$10,03 \pm 6,53$	181 (2.4%)

Taula 2. Les diferències tabulades per de la Rue en el segon article s'han corregit restant la latitud subterrestre i s'han tornat a obtenir els valors de les mitjanes i de les desviacions estàndards.

El nombre de dades que cal rebutjar és menor a l'1% en els casos de Carrington i Peters, però gairebé un 2,5% en el cas de de la Rue.

Conclusions

Un cop transformades les dades de Carrington, Peters i de la Rue a un format digital, s'han creuat els valors de la longitud i latitud heliogràfiques i els de les magnituds secundàries incloses en les mateixes taules a fi de detectar errors de transcripció i/o lectura. Això ha mostrat una diferència constant en la longitud heliogràfica de les taques, que és atribuïble a l'extrapolació de les efemèrides emprades, ja que el meridià central es mesura a partir de les dades que va obtenir un dels autors de les taules, Carrington.

El valor de la latitud heliogràfica obtinguda gairebé no mostra diferències amb les calculades en aquest treball, excepte en el cas del segon article de de la Rue, que comença l'1 de gener de 1864. El residu que mostren les dades assenyala un error en el càlcul d'aquesta magnitud per part de l'autor perquè no va sostreure la latitud del punt subterrestre.

Bibliografia

- ARLT, Rainer. «The sunspot observations by Samuel Heinrich Schwabe». *Astronomische Nachrichten*, 332, 8 (2011), p. 805.
- BALTHASAR, Horst [et al.]. «Differential rotation of sunspot groups in the period from 1874 through 1976 and changes of the rotation velocity within the solar cycle». *Astronomy and Astrophysics*, 155 (1986), p. 87.
- CARRINGTON, Richard Christopher. *Observations of the spots on the Sun from November 9, 1853, to March 24, 1861, made at Redhill*. Williams and Norgate, 1863.
- CASAS, Ricard; VAQUERO, José M.; VÁZQUEZ, Manuel. «Solar rotation in the 17th century». *Solar Physics*, 234 (2006), p. 379.
- GIORGINI, Jon D. [et al.]. «JPL's On-Line Solar System Data Service». *Bulletin of the American Astronomical Society*, 28 (1996), p. 1158.
- MEEUS, Jean. *Astronomical Formulae for Calculators*. Willmann-Bell Inc., 1988.
- RUE, Warren de la; STEWART, Balfour; LOEWY, Benjamin. *Researches on Solar Physics. Heliographical Positions and Areas of Sun-Spots Observed with the Kew Photoheliograph during the Years 1862 and 1863*. Londres: The Royal Society, 1867
- . *Researches on Solar Physics. No. II. The Positions and Areas of the Spots Observed at Kew during the Years 1864, 1865, 1866, Also the Spotted Area of the Sun's Visible Disk from the Commencement of 1832 up to May 1868*. Londres: The Royal Society, 1870.