

VIATGE A L'INFERN DEL SOL

'SOLAR ORBITER', UN NOU VISITANT A LA NOSTRA ESTRELLA

Enric Marco Soler, Julián Blanco Rodríguez i José Luis Gasent Blesa

Vivim en una societat tecnològica en un món inconstant. Estem a mercè d'unes forces de la natura de les quals és difícil protegir-se, fins i tot en el primer món. L'huracà Katrina a Louisiana el 2005 o el tsunami a la central nuclear de Fukushima de 2011 en són exemples ben paradigmàtics. Més enllà de la Terra també assetgen perills per al planeta sencer. L'amenaça de l'impacte d'un asteroide és el més conegut, però el Sol, la nostra estrella, també pot ser un risc per a la civilització actual.

L'1 de setembre de 1859, l'astrònom britànic Richard C. Carrington observà, mentre feia uns dibuixos d'un grup de taques solars, que, de sobte, entre elles apareixia un intens esclat de llum blanca, el que ara anomenen una fulguració. Al cap de dos dies es produïren les tempestes geomagnètiques més intenses registrades fins aquell moment. S'observaren aurores boreals a latituds tan baixes com Colòmbia (Cárdenas, Sánchez i Vargas Domínguez, 2016) i els sistemes telegràfics deixaren de funcionar a Europa i Nord-amèrica.

Passats més de 150 anys des d'aquell esdeveniment, sort tenim que aquestes tempestes magnètiques, segons sembla, es produeixen només amb una periodicitat de 500 anys. Si ocorregueren en aquests dies, els problemes en els satèl·lits, en la xarxa elèctrica, en Internet o en la navegació aèria i marítima serien immensos i la situació posterior a la Terra seria catastròfica.

Conèixer, per tant, com funciona el Sol és essencial per a la supervivència de la societat tecnològica. És necessari preveure quan i per què pot créixer una nova tempesta solar i com ens pot afectar. Per aquesta raó, a banda d'un interès purament científic, de ciència bàsica, així com d'altres influències sobre la Terra, ens hem preocupat per estudiar el Sol de manera detallada,

primer des d'observatoris terrestres i, des de fa tres dècades, des de l'espai. Aquests estudis s'engloben dins de la meteorologia espacial, dedicada a l'estudi i predicció de tempestes solars.

■ SOHO, LA GRAN MISSIÓ AL SOL

Ja fa vint anys que la missió conjunta SOHO (Solar Heliospheric Observatory) de les agències espacials europea i nord-americana, l'ESA i la NASA, analitza de manera continuada el nostre estel des d'un punt d'observació privilegiat d'estabilitat gravitatòria a uns 1,5 milions de quilòmetres de la Terra. El satèl·lit *SOHO* començà les operacions el maig de 1996 i, amb una durada nominal

de la missió de dos anys, acaba de superar-ne vint de funcionament. Ara mateix és el satèl·lit d'observació solar més veterà de la història. Vicent Domingo Codoñer, actualment professor honorari de la Universitat de València, en va ser director científic durant més de deu anys.

Durant aquest temps, el coneixement sobre el Sol ha crescut de manera exponencial mercè a les dades aconseguides per la dotzena d'instruments científics a bord de *SOHO*. Ara sabem més sobre l'estructura interna, les variacions de brillantor, l'activitat magnètica, l'escalfament de l'atmosfera solar, els fluxos de partícules i la interacció d'aquestes amb la magnetosfera terrestre (Balwin, Fleck i Müller, 2015). Així mateix, cal destacar l'interès de l'equip de la missió per compartir a la web les imatges i vídeos de manera diària, la qual cosa n'ha permès l'ús tant dels científics com del públic en general.

L'interior de la nostra estrella es coneix ara molt millor després d'analitzar durant anys les ones acústiques solars, el que es coneix com a heliosismologia.

**«CONÈIXER COM FUNCIONA
EL SOL ÉS ESSENCIAL PER A
LA SOCIETAT TECNOLÒGICA.
ÉS NECESSARI PREVEURE
QUAN I PER QUÈ POT
CRÉIXER UNA NOVA
TEMPESTA SOLAR I COM ENS
POT AFECTAR»**

Disc solar complet en llum blanca observat des de l'espai amb la nau *SOHO*. En la fotosfera s'observen diversos grups de taques solars, manifestació més visible de la intensa activitat magnètica del Sol. Va ser en 1859 quan l'astrònom Richard C. Carrington observà que entre un grup de taques solars apareixia un intens esclat de llum blanca. Dos dies després es produïren les tempestes geomagnètiques més intenses registrades fins aquell moment.

Aquestes observacions contínues han permès determinar que la zona radiativa (més interna) gira com un sòlid rígid a diferència de les capes més externes i turbulentes de la zona de convecció. La fricció entre les capes en contacte genera i amplifica el camp magnètic mitjançant el mecanisme anomenat dinamo solar (Domingo i Marco, 2003).

Gràcies a aquesta missió s'han assajat i posat en pràctica noves tècniques d'anàlisi. Un exemple clar ha estat l'heliòsismologia local, que permet analitzar l'interior solar en zones molt concretes, com ara l'estructura sota la superfície d'una taca solar i, encara d'una manera més espectacular, obtenir informació del costat oposat del Sol i preveure quan eixirà una taca a la cara visible.

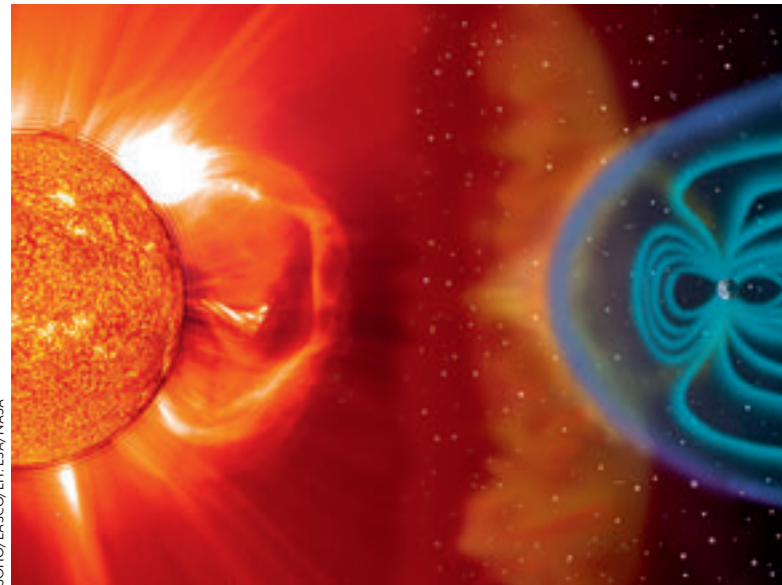
Donada la disponibilitat en temps real de les dades, els aficionats a l'astronomia han convertit el satèl·lit *SOHO* en el major instrument per al descobriment de cometes, la majoria dels quals passen rasant el Sol i no s'haurien vist de cap altra manera. Els més de 3.000 cometes descoberts fins ara demostren l'enorme interès del públic per la missió.

En definitiva, la missió *SOHO* ha canviat la manera de veure el Sol. Ara se sap que el nostre estel és un objecte molt dinàmic i variable i que, a causa de les contínues emissions de partícules carregades del vent solar, la seua influència arriba molt més lluny que no es pensava. Els planetes, i fins tot els distants cometes i cossos gelats més enllà de Plutó, estan immersos en un vent solar cada vegada més rarificat a mesura que ens allunyem de la nostra estrella. Així doncs, tot el sistema solar es troba dins de l'anomenada heliosfera: una immensa bombolla d'un plasma magnetitzat que ens separa i protegeix de l'espai interestel·lar. En aquesta, les condicions físiques estan dominades pel camp magnètic del Sol, arrossegat per les partícules carregades del vent solar.

■ SOLAR ORBITER, UNA NOVA MISSIÓ AL SOL

Malgrat tot el que sabem ara del Sol, això no és suficient per comprendre bé com es crea i controla l'heliòsfera. Per a compondre una imatge coherent, és necessari estudiar de prop el Sol per a discernir l'origen de les partícules presents a l'heliòsfera i la seua relació amb el camp i estudiar-ne l'evolució des de l'interior solar fins les capes més externes. Tanmateix, el disseny d'una missió per a acostar-se al Sol comporta un desafiament tecnològic sense precedents. La immensa calor i el flux variable de partícules energètiques solars

«JA FA VINT ANYS QUE LA MISSIÓ SOHO ANALITZA DE MANERA CONTINUADA EL NOSTRE ESTEL DES D'UN PUNT D'OBSERVACIÓ PRIVILEGIAT»



SOHO/LASCO/EIT, ESA/NASA

En la imatge, una emissió de massa coronal es dirigeix cap a la Terra. El camp magnètic terrestre reconduirà les partícules carregades solars cap a les zones polars (els objectes no estan dibuixats a escala). Una tempesta magnètica de gran intensitat pot provocar greus problemes en els satèl·lits, en la xarxa elèctrica, en Internet o en la navegació aèria i marítima.

que hauria de suportar la nau són reptes difícils de superar. Reptes en els quals ha estat treballant l'equip de *Solar Orbiter*.

La nau *Solar Orbiter* de l'ESA serà llançada a l'espai a principis de l'any 2019 i s'aproximarà enormement a la nostra estrella. La nau, d'uns 1.800 kg, serà enviada a l'espai per un llançador de la NASA i apuntarà contínuament al Sol. Per protegir la delicada instrumentació científica del sobreescalfament, *Solar Orbiter* disposa d'un escut calorífic amb finestres especials per permetre l'observació dels instruments a bord. Les simulacions tèrmiques mostren que l'escut pot arribar fins a una temperatura d'uns 500 °C, mentre que part de la instrumentació treballa en entorns controlats dins d'interval·ls de temperatures d'algunes desenes de graus. A més, l'excentricitat de l'òrbita de *Solar Orbiter* posicionarà el satèl·lit des de les proximitats del Sol fins pràcticament la distància de la Terra, generant-hi enormes variacions de temperatura, amb valors que poden arribar a estar per sota de -150 °C. Cal reconèixer l'audàcia dels enginyers europeus, que han aconseguit que un gradient de temperatura tan gran no siga un problema.

Si mirem l'òrbita que seguirà al voltant del Sol, ens adonem que *Solar Orbiter* és ben especial. Després de tres anys de viatge amb diverses assistències gravitatò-



ESA



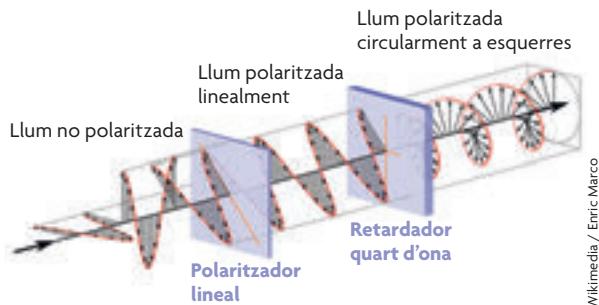
ries de la Terra i de Venus per accelerar-se, la nau assolirà una òrbita el·líptica que la situarà, en el seu punt més pròxim al Sol, el periheli, a només 0,28 unitats astronòmiques (42 milions de km), una distància menor que la de Mercuri. Però com que la missió pretén explorar també les zones de latituds altes, aprofitarà les empentes que li proporcionarà Venus per eixir progressivament del pla de l'òrbita de la Terra, l'eclíptica, i al llarg dels següents cinc anys, anirà augmentant la inclinació de l'òrbita fins arribar als 33° al final de la missió, allà pel 2027. S'obtindrà, d'aquesta manera, una visió inèdita de la nostra estrella: veure-la pràcticament des de dalt.

Per aconseguir els seus objectius científics, *Solar Orbiter* disposa d'un conjunt de deu instruments. Quatre d'aquests instruments faran mesures *in situ* de les propietats de les partícules solars del medi interplanetari per on viatja la nau, mentre que els altres sis observaran remotament els fenòmens que s'esdevenen en l'atmosfera solar. L'ús combinat de les dades recollides



Representació artística de *Solar Orbiter* (no a escala), que serà llançada a l'espai a principis de 2019. S'hi pot veure l'escut calorífic que protegeix la instrumentació científica. La nau s'aproximarà al Sol fins a 42 milions de quilòmetres. En la barra posterior se situen la majoria dels instruments *in situ*.

«EL DISSENY D'UNA MISSIÓ PER A ACOSTAR-SE AL SOL COMPORTA UN REPTÉ TECNOLÒGIC SENSE PRECEDENTS PER LA IMMENSA CALOR I EL FLUX VARIABLE DE PARTÍCULES ENERGÈTIQUES QUE HAURIA DE SUPORTAR LA NAU»



Wikimedia / Enric Marco

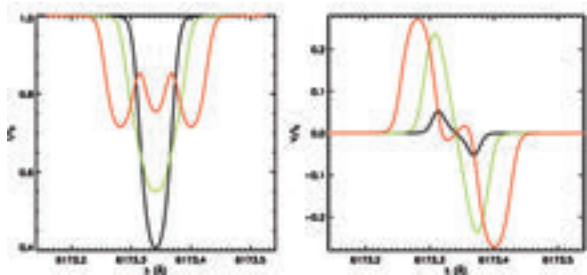
Per conèixer el camp magnètic de les estructures solars cal fer ús del fenomen de la polarització de la llum. El seu ús en astronomia és constant des dels estudis de Hale en 1908 i la seua aplicació a la física solar es fa des dels anys cinquanta del segle xx. En la imatge, exemple de polarització de la llum i tractament d'aquesta, usada per a obtenir informació del camp magnètic. A partir de llum incident amb polarització aleatòria (no polaritzada, esquerra), es passa a llum polaritzada linealment en fer-la travessar un polaritzador lineal, que només permet una direcció concreta de polarització (centre). Un retardador modifica la relació de polarització de la llum. En aquest cas, un retardador de quart d'ona transforma la llum polaritzada linealment en llum polaritzada circularment a esquerres (dreta).

dels instruments *in situ* i els d'observació remota ens proporcionarà una nova perspectiva heliosfèrica, no aconseguida mai abans per cap altra missió solar.

Serà un avanç sense precedents perquè es podrà seguir un fenomen des que es produeix en la fotosfera, es veurà com els seus efectes es propaguen per la cromosfera i la corona fins que les partícules emeses siguin captades pels instruments a bord. Per exemple, una fulguració solar causada per una recombinació magnètica en una zona activa solar, i que s'observa des de la fotosfera fins les capes atmosfèriques superiors, seria captada primerament pels instruments de detecció remota en llum visible, ultraviolada i raigs X, mentre que els electrons accelerats emesos serien observats en ràdio en eixir del Sol. Finalment, l'energia de les partícules carregades es mesuraria *in situ* en arribar a la nau. D'aquesta manera, deu instruments podran seguir seqüencialment un mateix fenomen solar. Però a més a més, com que *Solar Orbiter* orbitarà el Sol en el mateix sentit de gir d'aquest, en la pràctica s'aconseguirà reduir la velocitat relativa de rotació respecte a les estructures solars. Per tant, per primera vegada serà possible observar les estructures en evolució en la superfície solar i en l'heliòsfera durant quasi una rotació solar.

Els instruments d'observació *in situ* mesuraran contínuament al llarg de la missió. Tanmateix, els d'observació remota seran operatius només durant tres períodes, de deu dies de durada cadascun, en cada òrbita de *Solar Orbiter*. Se situaran al voltant de la màxima i mínima heliolatitud, els punts més separats del pla de l'eclíptica, i el periheli.

Els moments de màxima aproximació al Sol són, per descomptat, els de major interès científic però també els



Julian Blanco

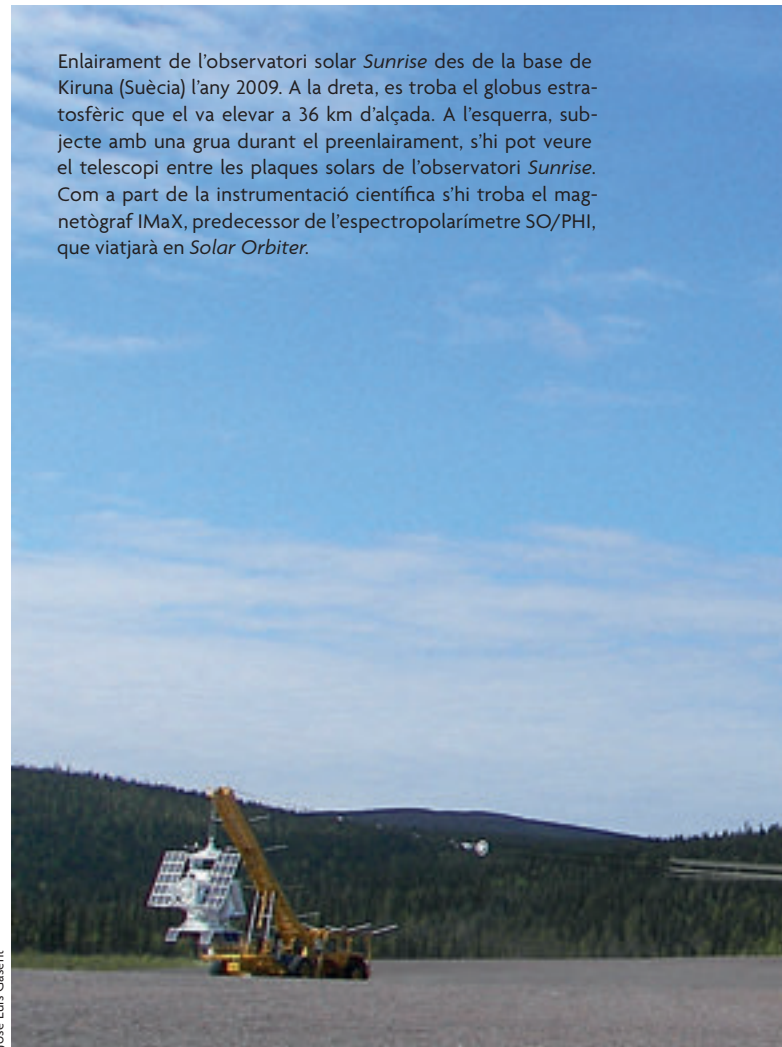
Pieter Zeeman va descobrir en 1896 que, en presència d'un camp magnètic intens, les línies espectrals produïdes per la interacció de la llum amb un element químic es podrien desdoblar en conjunts de línies. La distància en longitud d'ona d'aquesta separació és proporcional a la intensitat del camp aplicat, amb la qual cosa és una eina essencial per a estudiar camps magnètics. En la gràfica, exemple de l'efecte Zeeman en la línia de ferro neutre (Fe I) a 617,3 nm, observable en mesures de polarització produïdes sintèticament a partir d'un camp magnètic inclinat 40° respecte a la línia de visió i amb tres intensitats de camp diferents: negre = 100 G, verd = 800 G, roig = 2000 G. A l'esquerra, es presenta la intensitat de la línia (I/Ic). En els casos negre i verd no s'aprecia cap separació de la línia, mentre que en el cas roig ja s'identifiquen clarament les tres components del triplet i es pot fer una estimació de la intensitat del camp. Tanmateix, en mesures de polarització circular (dreta, V/Ic), el cas verd ja presenta amplituds suficientment altes per poder obtenir el camp magnètic.

de major perill per a la missió. L'escut tèrmic protegirà la càrrega útil de la nau de manera efectiva en aquest període, però alguns elements com els panells solars i l'antena d'alt guany sofriran bastant en l'encontre. És previst que els panells solars giren per mostrar al Sol una superfície menor, mentre que l'antena es plegarà sota la nau. Per això, durant aquest període crític, la missió no podrà comunicar-se amb la Terra. Haurà de treballar de manera autònoma i guardar totes les dades recollides fins que siga possible reenviar-les al control terrestre. Això requereix l'ús i preparació d'exigents tècniques –algunes aplicades autònomament per primera vegada– de processament i compressió de dades a bord.

Nou dels deu instruments han estat dissenyats i construïts per centres d'investigació europeus, entre els quals un de liderat i un altre de coliderat per equips espanyols: l'Energetic Particle Detector (EPD) i el Polarimetric and Helioseismic Imager (SO/PHI). L'EPD, instrument de mesures *in situ*, està liderat per la Universitat d'Alcalá de Henares, i tindrà com a objectiu estudiar la composició, distribució i cadència de les partícules energètiques i supratèrmiques (amb energies superiors a les del vent solar) de l'heliosfera.

■ EL CAMP MAGNÈTIC SOLAR: L'INSTRUMENT SO/PHI

SO/PHI, un dels instruments d'observació remota, és fruit de la col·laboració entre institucions principalment d'Alemanya, Espanya i França. L'Institut d'Astrofísica



José Luis Gasent

d'Andalusia (IAA/CSIC) és coinvestigador principal de SO/PHI i lidera un consorci d'institucions espanyoles entre les quals hi ha la Universitat de València, l'Institut d'Astrofísica de Canàries (IAC), l'Institut Nacional de Tècnica Aeroespacial (INTA), la Universitat de Barcelona i la Universitat Politècnica de Madrid. La seua missió és, primerament, obtenir imatges del Sol en el visible i fer mesures acurades de les velocitats del plasma en la línia de visió en la fotosfera. Amb aquestes dades es determinarà la dinàmica de les estructures solars i amb tècniques d'heliòsismologia s'aprofundirà en el coneixement de l'interior solar. Però, sobretot, SO/PHI permetrà observar, tant en alta resolució com en el disc solar sencer, el vector camp magnètic, que és, de fet, el nexa connector entre les diferents capes de l'atmosfera solar i l'heliosfera.

Per conèixer el camp magnètic de les estructures solars cal fer ús del fenomen de la polarització de la llum, propietat relacionada amb la seua direcció d'oscil·lació. De fet va ser el físic francès Étienne-Louis

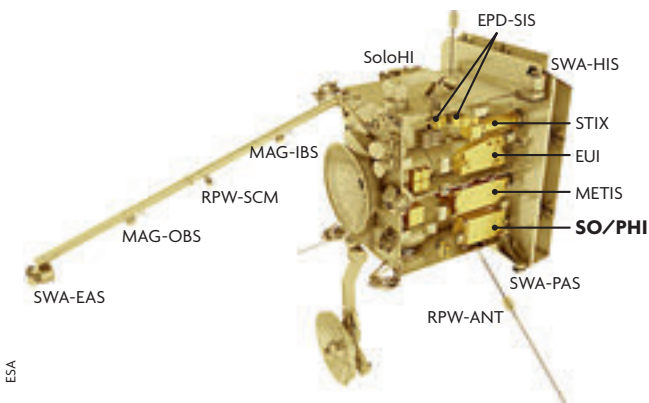


Malus qui, després d'observar la llum reflectida en els vidres del Palau de Luxemburg de París, el 1808, va interpretar correctament aquest fenomen abans estudiat per Newton i Huygens.

La polarització és una propietat de la llum que s'usa en molts camps (geologia, química, mecànica...) i aplicacions (pantalles de telèfons mòbils, ulleres de sol, cinema 3D...). El seu ús en astronomia, combinat amb l'efecte Zeeman, és constant des dels estudis de Hale en 1908, i s'aplica a la física solar des dels anys cinquanta del segle XX.

Pieter Zeeman, físic neerlandès, va descobrir en 1896 que, en presència d'un camp magnètic intens, les línies espectrals produïdes per la interacció de la llum amb un element químic es podrien desdoblar en

«DE LA MATEIXA MANERA QUE 'SOHO' ENS OFERÍ UNA NOVA MANERA DE VEURE EL SOL, 'SOLAR ORBITER' PERMETRÀ FER UN PAS DE GEGANT EN EL CONEIXEMENT DE LA NOSTRA ESTRELLA»



Càrrega útil a bord de *Solar Orbiter*. En aquesta representació una paret lateral s'ha eliminat per exposar els instruments. A la part superior se situen la càmera heliosfèrica SoloHI, el detector de partícules energètiques EPD així com STIX, l'espectròmetre de raigs X. A la part central hi ha la càmera ultraviolada EUI i el coronògraf METIS. L'instrument SO/PHI es troba situat en la part inferior. SPICE, la càmera espectral de l'entorn coronal, no és visible en la imatge. En la barra posterior se situen la majoria dels instruments *in situ*, com ara el magnetòmetre MAG, el detector d'ones de plasma i ràdio RPW i l'analitzador de plasma del vent solar SWA.

conjunts de línies; això és degut al fet que el camp fa que els nivells atòmics dels elements químics puguin separar-se en subnivells, el que permet l'aparició de més línies espectrals que l'original. La distància en longitud d'ona d'aquesta separació és proporcional a la intensitat del camp aplicat, amb la qual cosa proporciona una eina essencial per a estudiar camps magnètics. No obstant això, depenent del camp i del medi, encara que les línies s'hagen dividit potser no es distingisquen com a independents. Però les línies espectrals afectades per l'efecte Zeeman estan, a més, polaritzades de manera diferent, per la qual cosa la combinació de la polarització amb aquest efecte permet investigar camps encara que aquests no siguin molt intensos.

En això consisteix l'enorme interès que la física mostra en els darrers anys per la polarització que presenta la llum que prové de les estructures magnètiques solars (Del Toro Iniesta, 2003). Un bon sistema òptic format per un telescopi, un espectroscopi i un element compost per polaritzadors i retardadors per a analitzar la polarització de la llum permetria determinar el vector camp magnètic, en intensitat i direcció, i, com qui diu, veure el principal factor de l'activitat solar en 3D després d'un complex processament de la informació.

SO/PHI és bàsicament un sofisticat espectropolarímetre capaç de mesurar totes les components espacials del camp magnètic i la velocitat radial fent ús dels

efectes Zeeman i Doppler, respectivament, amb la línia espectroscòpica de ferro neutre (Fe I) a 617,3 nm. La part òptica es completa amb dos telescopis de distinta apertura que permetran d'obtenir, alternativament, imatges en alta resolució d'estructures solars amb resolucions de 100 km, o bé imatges del Sol complet amb resolucions d'uns 700 km, tots dos en el moment de màxima aproximació a la nostra estrella. Per a l'anàlisi polarimètrica, cadascun d'aquests telescopis disposa d'una unitat de polarimetria, dissenyada a Espanya i formada per dos retardadors de cristall líquid i un polaritzador lineal. Aquesta tecnologia volarà per primera vegada a l'espai en l'instrument SO/PHI (Solanki et al., 2015).

La tecnologia de SO/PHI és heretada del magnetògraf IMAx (Imaging Magnetograph eXperiment), que va ser dissenyat i construït completament per un consorci d'universitats i centres d'investigació espanyols com el que treballa a SO/PHI. L'instrument IMAx, liderat per l'IAC, forma part de l'observatori solar *Sunrise*, que es va enlairar en un globus fins a l'estratosfera, durant uns dies de l'estiu àrtic de 2009 i 2013. Aquesta missió és una col·laboració entre Alemanya, Espanya i els EUA.

Amb un telescopi d'un metre d'apertura, els dos vols de *Sunrise* van aconseguir una bona sèrie d'imatges de la fotosfera i la cromosfera solar amb una resolució espacial i temporal sense precedents; en part gràcies al vol estratosfèric, que permet observar lliure de la major part de l'atmosfera i de les seues perturbacions, així com poder rebre llum de bandes ultraviolades per a observar la cromosfera. Però, a més de tota la ciència obtinguda i publicacions generades, *Sunrise* ha servit com una plataforma per provar tecnologies espacials a uns 36 km d'alçada a cost raonables. És previst que aquest observatori es torne a llançar l'any 2020, amb instrumentació renovada i amb la col·laboració també del Japó.

SO/PHI tractarà de respondre a un gran nombre de problemes crucials en física solar, alguns dels quals només amb les dades adquirides per ell mateix i en d'altres ocasions en combinació amb dades de la resta d'instruments a bord. Així, SO/PHI ens donarà el primer mapa dels camps magnètics de les zones polars del Sol, perquè té l'avantatge que observarà per damunt de l'eclíptica. A més, s'aprofitarà de la reduïda rotació aparent del Sol per fer un seguiment quasi radial dels elements magnètics solars i s'evitarà d'aquesta manera el molest escorç que distorsiona les mesures de velocitat del plasma.

■ FINS A LES PORTES DE L'INFERN SOLAR

Algunes missions prèvies a Solar Orbiter han compartit alguna de les seues característiques (com ara Ulysses, STEREO...), però aquesta serà la primera que combine imatges fora de l'eclíptica amb la possibilitat de generar-ne d'estereogràfiques (en col·laboració amb observatoris terrestres i espacials, com el Solar Dynamics Observatory o SOHO) en observar allunyat de la línia Sol-Terra i amb els instruments d'observació remota i in situ. És per això que es convertirà en una missió única.

L'any 2018, la NASA enviarà també a l'espai l'observatori solar *Solar Probe Plus*, que s'acostarà de manera suïcida al Sol, fins a uns 6,5 milions de quilòmetres. Aquesta missió, però, durà principalment instruments

d'observació *in situ*, complementats amb imatges remotes de la corona i l'helimosfera. Haurà de ser la nau *Solar Orbiter* qui done la informació magnètica necessària per a poder interpretar les dades de la sonda americana.

Ens esperen uns anys de nervis per l'èxit de la missió i pels resultats obtinguts. I de la mateixa manera que *SOHO* ens oferí un nou Sol, *Solar Orbiter*, que viatjarà

fins a les portes de l'infern solar, permetrà fer un pas de gegant en el coneixement de la nostra estrella. ☺

«'SOLAR ORBITER' DISPOSA D'UN CONJUNT DE DEU INSTRUMENTS, NOU DELS QUALS DISSENYATS I CONSTRUÏTS PER CENTRES EUROPEUS»

REFERÈNCIES

- Balwin, E., Fleck, B., & Müller, D. (2015). SOHO: Two decades of observing the Sun. *ESA Bulletin*, 163, 16–23. Disponible en <http://esamultimedia.esa.int/multimedia/publications/ESA-Bulletin-163/>
- Cárdenas, M., Sánchez, C., & Vargas Domínguez, S. (2016). The grand aurora borealis seen in Colombia in 1859. *Advances in Space Research*, 57(1), 257–267. doi: 10.1016/j.asr.2015.08.026
- Del Toro Iniesta, J. C. (2003). *Introduction to spectropolarimetry*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Domingo, V., & Marco, E. (2003). El Sol des de l'espai. *Mètode*, 37, 22–28. Disponible en metode.cat/revistes-metode/article/el-sol-des-de-l-espai.html
- Solanki, S. K., Del Toro Iniesta, J. C., Woch, J., Gandorfer, A., Hirzberger, J., Schmidt, W., ... SO/PHI team. (2015). The polarimetric and helioseismic imager for Solar Orbiter: SO/PHI. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 10(305), 108–113. doi: 10.1017/S1743921315004615

Enric Marco Soler. Doctor en Física Solar. Tècnic superior d'investigació del Departament d'Astronomia i Astrofísica de la Universitat de València. Col·laborador dels projectes IMAx (Imaging Magnetograph eXperiment) i SO/PHI (Solar Orbiter Polarimetric and Helioseismic Imager).

Julián Blanco Rodríguez. Doctor en Física Solar. Tècnic superior d'investigació del Grup d'Astronomia i Ciències de l'Espai (Laboratori de Processament d'Imatges) de la Universitat de València. Coinvestigador dels projectes IMAx (Imaging Magnetograph eXperiment) i SO/PHI (Solar Orbiter Polarimetric and Helioseismic Imager).

José Luis Gasent Blesa. Enginyer de telecomunicació. Tècnic superior d'investigació del Grup d'Astronomia i Ciències de l'Espai (Laboratori de Processament d'Imatges) de la Universitat de València. Gestor de projectes d'investigació relacionats amb la instrumentació espacial.