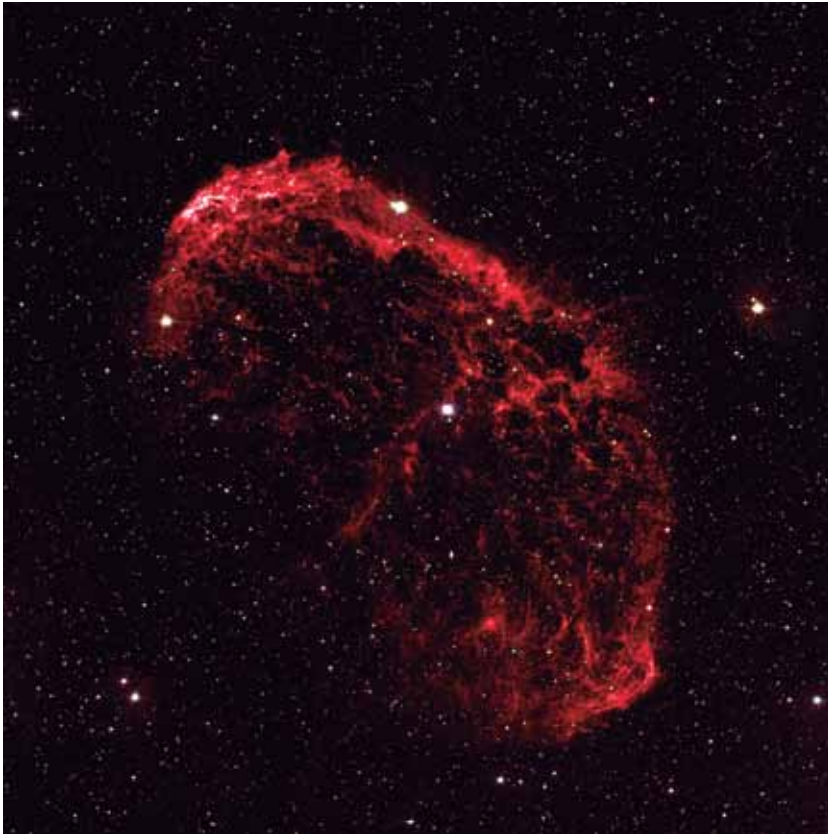


CCI  
INFORME ANUAL  
2015  
ANNUAL REPORT

**OBSERVATORIOS ASTROFISICOS DE CANARIAS**



*La Nebulosa Creciente (NGC 6888), observada con el telescopio STELLA-I y WiFSIP. Imagen compuesta de cuatro colores a partir de los filtros B, V, R' y Ha (3x80s en B, 3x40s en V, 3x20s en R' y 5x300s en Ha). El campo de visión es de 22'x22', con una escala de 0.32'' por pixel.*

*The Crescent Nebula (NGC 6888) with STELLA-I and WiFSIP; 4-color composite from B, V, R', and Ha (3x80s in B, 3x40s in V, 3x20s in R', 5x300s in Ha). Field of view is 22'x22', pixel sampling 0.32''/pix.*

## INDICE      INDEX

OBSERVATORIOS DE CANARIAS	6	IAC OBSERVATORIES
PREFACIO E INTRODUCCIÓN	8	PREFACE & INTRODUCTION
LOGROS CIENTÍFICOS	12	SCIENTIFIC HIGHLIGHTS
EXPERIMENTOS, NUEVOS TELESCOPIOS Y MEJORAS	30	EXPERIMENTS, NEW TELESCOPES & IMPROVEMENTS
LISTA DE CONTACTOS	43	CONTACT LIST

Contact address:  
**Mr Campbell Warden**  
**CCI Secretary**  
INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS  
E38200 - LA LAGUNA  
Tenerife, Canary Islands

Phone: 34 922 605 220 & 34 628 182023  
cci@iac.es  
[www.iac.es/cci](http://www.iac.es/cci)

Edición: Campbell Warden  
Traducciones: Julia Lecuona & Nigel Moore  
Diseño y maquetación: Gotzon Cañada

Depósito legal: TF-852/98

# ***OBSERVATORIOS ASTROFÍSICOS DE CANARIAS***

**COMITÉ  
CIENTÍFICO  
INTERNACIONAL**

**INFORME ANUAL  
ANNUAL REPORT**

**CCI 2015**

**INTERNATIONAL  
SCIENTIFIC  
COMMITTEE**

**COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL**  
*“debe preparar informes anuales sobre las actividades  
científicas desarrolladas en los Observatorios”*  
*Protocolo del Acuerdo de Cooperación en  
materia de Astrofísica (1979)*



**INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE**  
*“should prepare annual reports on the scientific  
activities carried out in the Observatories”*  
*Protocol to the Agreement on Co-operation in  
Astrophysics (1979)*

## COMITÉ CIENTÍFICO INTERNACIONAL

Con la firma en 1979 del Acuerdo de Cooperación en Materia de Astrofísica y su Protocolo entre Dinamarca, Reino Unido, Suecia y España (el "Tratado Internacional de Astrofísica") y la Adenda en 1983 con la adhesión de Alemania, se abrió a la comunidad astronómica internacional los Observatorios del Instituto de Astrofísica de Canarias. En 1985 se realizó la Inauguración oficial de estos Observatorios (véase la referencia en la páginas 9 y 11) y desde entonces otros países se han adherido a este Tratado Internacional (véase la lista en la parte inferior de esta página). Los Acuerdos Internacionales se estructuran en tres niveles: el "primer nivel" corresponde a los gobiernos; el "segundo nivel" a los consejos nacionales de investigación, que constituyen los "Organismos Firmantes", y finalmente las "Instituciones Usuarias", universidades y centros de investigación que firman acuerdos de "Tercer Nivel" con el IAC.

El Tratado Internacional concede a los "Organismos Firmantes una participación efectiva en la adopción de las decisiones" a través del Comité Científico Internacional (CCI), cuyos acuerdos tienen que ser unánimes. El CCI puede crear subcomités para ser asesorado en cuestiones específicas (véase la sección inferior de la página en frente) y tiene la obligación de producir un Informe Anual sobre la actividad llevada a cabo en estos Observatorios. Además establece un programa especial para promover la colaboración astronómica entre los astrónomos de estos países, "El Programa del 5% de Tiempo Internacional (ITP)", cuyo tiempo de observación es asignado por el CCI en su reunión de primavera cada año.

Las universidades e instituciones de los países que no se han adherido todavía al Tratado Internacional pueden instalar sus instrumentos en los Observatorios Astrofísicos de Canarias mediante una colaboración bilateral con el IAC, o entrar a formar parte de alguna de las colaboraciones internacionales (p.ej. MAGIC) y así, en total, unas setenta y cinco instituciones científicas pertenecientes a veinticinco países han instalado sus telescopios e instrumentos en los Observatorios del Roque de los Muchachos en La Palma y del Teide en Tenerife (véase las Tablas en las páginas 6 y 7). Cada instalación telescópica es propiedad de una institución o consorcio, que puede ser consecuencia de una colaboración entre dos o más países y ellos son responsables de la contratación de su personal y de los costes de su operación. El mantenimiento y operación de la infraestructura común y sus servicios indiferenciados se financia a través de los presupuestos que son aprobados en la reunión del CCI del otoño de cada año y todas las instituciones contribuyen su parte proporcional según la fórmula que éste ha establecido.

## INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

With the signing in 1979 of the Agreement on Cooperation in Astrophysics and its Protocol between Denmark, United Kingdom, Sweden and Spain (the "International Treaty in Astrophysics") and the Addenda in 1983 with the accession of Germany, the IAC Observatories were opened to the international astronomical community. They were formally inaugurated in 1985 (see reference on pages 9 and 11) and since then other countries have acceded to the International Treaty (see list at the bottom of this page). The international agreements are structured in three levels: the "first level" corresponds to governments; the "second level" to national research councils, which are the "Signatory Bodies" and finally the "User Institutions", which are universities and research centres that have signed "Third Level" agreements with the IAC.

The International Treaty grants the "Signatory Bodies an effective voice in the decision making process" through the International Scientific Committee (known as the "CCI" from its initials in Spanish), whose decisions have to be unanimous. The CCI may establish subcommittees to advise it on specific issues (see lower part of the page opposite) and has an obligation to produce an Annual Report on the activity carried out in these observatories. It also establishes a special program to promote astronomical collaboration between astronomers from these countries, "the 5% International Time Program (ITP)" and this observing time is allocated by the CCI at its spring meeting each year.

Universities or research centres in a country that has not yet acceded to the International Treaty can install its instruments in the Observatorios Astrofísicos de Canarias by entering into a bilateral cooperation with the IAC, or by joining one of the international collaborations (e.g. MAGIC). In total over seventy five scientific institutions from twenty five countries have set up their telescopes and instruments in the Roque de los Muchachos (La Palma) and Teide (Tenerife) Observatories (see Tables on pages 6 and 7). Each telescope facility is owned by an institution or consortium, which may result from a collaboration between two or more countries. These are responsible for hiring their own staff and meeting their operation costs. Maintenance and operation of the Common Facilities and undifferentiated services is financed through the budgets that are approved at the CCI's autumn meeting each year and all institutions contribute their proportionate share according to the formula that it has established.

Country		
	Belgium	Fonds voor Wetenschappelijk Onderzoek -Vlaanderen
	Germany	Deutsche Forschungsgemeinschaft
	Finland	Suomen Akatemia
	France	Centre National de la Recherche Scientifique
	Italy	Istituto Nazionale di Astrofisica
	Spain	Consejo Superior de Investigaciones Científicas
	UK	Science and Technology Facilities Council

Signatory Body

**USER INSTITUTION**

Astrophsikalisches Institut Postdam (Germany)  
 Centre National de la Recherche Scientifique (France)  
 Deutsche Forschungsgemeinschaft (Germany)  
 GRANTECAN, S.A. (Spain)  
 Istituto Nazionale di Astrofisica (Italy)  
 Katholieke Universiteit Leuven (Belgium)  
 Liverpool John Moores University (UK)  
 MAGIC Consortium (Germany & Spain)  
 Warwick University (UK)  
 School of Physics and Space Research, Univ. of Birmingham (UK)  
 Science and Technology Facilities Council (UK)  
 University of Bradford (UK)

**TELESCOPE INSTALLATION**

STELLA  
 THEMIS  
 VTT, GT  
 GTC  
 TNG  
 MERCATOR  
 LT  
 MAGIC + FACT  
 SuperWASP + Warwick 1m  
 MARK-1  
 ING  
 BRT

**DIFFERENT USER INSTITUTION**

Instituto de Astrofísica de Canarias (Spain)

AMOS, CILBO, CTA-LST1; DOT, EAST, EARTHSHINE,  
 GONG, IAC80, JKT, LCOGT, MAGEC, MASTER,  
 MONS, NOT, OGS, OTA, QES, QUIJOTE, SONG, SST,  
 TCS & XO

**Members of the CCI in 2015**

President	Colin Vincent	Science and Technology Facilities Council (STFC)
Vice-President	Rafael Rebolo	Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC)
	Rafael Bachiller	Comisión Nacional de Astronomía (CNA)
	Philippe Louarn	Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)
	J Miguel Mas Hesse	Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
	Oskar von der Lühe	Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
	Francisco Almeida	Universidad de La Laguna (ULL)
	Giovanni F Bignami	Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) to October
	Nicola D'Amico	(INAF) from October
	Tuija Pulkkinen	Academy of Finland
	Christoffel Waelkens	Flemish Research Foundation (FWO)
Appointees	Elena Terlevich	CCI Scientific Adviser
	Campbell Warden	CCI Secretary

**CCI Sub-Committees****ORM Common Services Committee****Marc Balcells (Chair) - ING**

Juan C. Pérez Arençibia (Secretary) ORM SITE MANAGER  
 Pedro Álvarez - GTC  
 Oscar Blanch- MAGIC  
 Emilio Molinari - TNG  
 Alex Oscoz - IAC  
 Saskia Prins - Mercator Telescope  
 Dirk Raback - Liverpool Telescope

**Teide Common Services Committee****Michael Sigwarth (Chair) - KIS**

Miquel Serra (Secretary) - OT SITE MANAGER  
 Bernard Gelly - THEMIS  
 Alex Oscoz - IAC  
 John Baruch - BRT  
 Michael Weber - STELLA

**Observer:** Zoran Sodnik - ESA/OGS

**Site Properties Sub-Committee (SUCOSIP)****Casiana Muñoz-Tuñón - IAC (Chair)**

Campbell Warden (Secretary) - IAC  
 Pedro Álvarez - GTC  
 Chris Benn - ING  
 Bernard Gelly - THEMIS  
 Oskar v d Lühe - KIS  
 Razmik Mirzoyan - MAGIC  
 Saskia Prins - MERCATOR  
 Robert Smith - LT  
 Jean Vernin - University of Nice  
 Valentina Zitelli - TNG

# TEIDE OBSERVATORY (OT)

<b>Location:</b> Island of Tenerife (Canary Islands/Spain)	
<b>Altitude:</b> 2.390 m.	<b>Area:</b> 50 hectares
<b>Longitude:</b> 16°30'35" West	<b>Latitude:</b> 28°18'00" North

Ø cm	Instrument	Owner	Year Operational
	<b>QUIJOTE I + II</b> (Microwave telescopes)	IAC, IFCA & UnC (ES); UC & UM (UK)	2012 + 2014
	Automatic Seeing Monitor (DIMMA)	IAC (ES)	2010
	SHABAR	IAC (ES)	2010
	Earthshine	NJIT (USA)	2009
30	BRT	Un. Bradford (UK)	2005
40x2	LCOGT–Teide Node	LCOGTN (US)	2015
40x2	MASTER	Sternberg Institute MSU (RU)	2015
40x2	Optical Telescope Array	Telescope Society (US)	2004 & 2015
45x2 + 40x1	MAGEC	OAM (ES)	2015
50	Mons Telescope	Un. Mons (BE)	1972
70	Vacuum Tower (VTT)	LKIS (DE)	1989
80	IAC-80	IAC (ES)	1993
90	THEMIS	CNRS (FR)	1996
100	SONG	Un Aarhus (DK) IAC (ES)	2014
100	OGS	ESA (International)	1996
120 x 2	STELLA	L-IAP (DE)	2005 & 2008
150	Gregor (GT)	L-KIS, USG & L-AIP (DE)	2012
155	Carlos Sánchez Telescope (TCS)	IAC (ES)	1972
	<b>Solar Laboratory Instruments:</b>		
	Integral Spectrophotometer: MARK-I	UB (UK) & IAC (ES)	1977
	GONG Fourier Tachometer	NSO (US)	1996
	High Resolution Photometer EAST	NTHU (T - ROC)	2006
	<b>Cameras:</b>		
	CILBO	ESA (International)	2011
	XO	STScI (US)	2012
	AMOS-CI	CU in Bratislava (SK)	2014
	QES	Research Foundation of Qatar (QA)	2016

**BRT** Bradford Robotic Telescope; **CILBO** Canary Islands Long-Baseline Observatory; **CNRS** Centre National de la Recherche Scientifique; **CU** Comenius Un.; **ESA** European Space Agency; **IAC** Instituto de Astrofísica de Canarias; **IFCA** Instituto de Física de Cantabria; **LCOGTN** Las Cumbres Observatory Global Telescope Network; **L-IAP** Leibniz-Institut für Potsdam; **L-KIS** Leibniz-Kiepenheuer Institut für Sonnenphysik; **MSU** Moscow State University; **MU** Mons University; **NJIT** New Jersey Institute of Technology; **NSO** National Solar Observatory; **NTHU** National Tsing Hua University; **OAM** Observatorio Astronómico de Mallorca; **OGS** Optical Ground Station; **RFQ** Research Foundation of Qatar; **STScI** Space Telescope Science Institute; **TCS** Carlos Sánchez Telescope; **UB** University of Birmingham; **UC** University of Cambridge; **UnC** Universidad de Cantabria; **UM** University of Manchester; **USG** Universitäts Sternwarte Göttingen.

**BE** Belgium; **DK** Denmark; **ES** Spain; **FR** France; **DE** Germany; **RU** Russia; **SK** Slovakia; **QA** Qatar; **TW** ROC Taiwan; **UK** United Kingdom; **US** United States of America.

# ROQUE DE LOS MUCHACHOS OBSERVATORY (ORM)

<b>Location:</b> Island of La Palma (Canary Islands/Spain)	
<b>Altitude:</b> 2.396 m.	<b>Area:</b> 189 hectares
<b>Longitude:</b> 17 <sup>0</sup> 52'34" West	<b>Latitude:</b> 28 <sup>0</sup> 45'34" North

Ø cm	INSTRUMENT	OWNER &/or OPERATOR	YEAR
20	SHABAR	IAC (ES)	2010
	SuperWASP	Un. Warwick	2004
	Automatic Seeing Monitor (DIMMA)	IAC (ES), UN (FR)	2007
	Automatic Seeing Monitor (DIMMA)	ING/STFC (UK)	1994
<b>OPTICAL &amp; IR</b>			
45	Dutch Open Telescope (solar)	DOT Foundation (NL)	1997
60	Optical Telescope	KVA (SE)	1982
97	Swedish Solar Telescope	KVA (SE)	2002
100	Warwick 1m Telescope	Un. Warwick (UK)	2014
100	Jacobus Kapteyn Telescope	IAC & SARA	2015
120	Mercator Telescope (optical)	KUL (BE) IS (BE)	2002
200	Liverpool Telescope (robotic)	LJMU (UK)	2003
250	Isaac Newton Telescope (optical)	STFC (UK); NWO (NL)	1984
256	Nordic Optical Telescope	NOT Scientific Association (DK, FI, IL, NO & SE)	1989
350	Telescopio Nazionale Galileo (optical)	INAF (IT)	1998
420	William Herschel Telescope (optical)	STFC (UK) NWO (NL); IAC	1987
1,050	Gran Telescopio Canarias (optical - IR)	GRANTECAN (ES), Un. Florida (US) INAOE & UNAM, MX)	2008
300 1,700 1,700 2,300	<b>Cherenkov</b>		
	FACT	FACT Collaboration*	2011
	MAGIC I	MAGIC Collaboration**	2005
	MAGIC II	MAGIC Collaboration**	2008
LST 1	LST Collaboration***	2016	
	<b>Cameras</b>		
	CILBO	ESA (International)	2011
	AMOS-CI	CU in Bratislava (SK)	2014

**CILBO** Canary Islands Long-Baseline Observatory; **CU** Comenius Un.; **IAC** Instituto de Astrofísica de Canarias; **ICRR** Institute for Cosmic Ray Research – University of Tokyo; **INAF** Istituto Nazionale di Astrofisica; **INAOE** Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica; **IS** Institut Sterren-kunde; **KVA** Kungliga Vetenskapsakademien; **KUL** Katholieke Universiteit Leuven; **LJMU** Liverpool John Moores University; **NWO** Nederlands Wetenschappelijk Onderzoek; **SARA** The Southeastern Association for Research in Astronomy (US); **STFC** Science and Technology Facilities Council; **UN** University of Nice; **UNAM** Universidad Nacional Autónoma de México; **UU** University of Utrecht.

\* **FACT Collaboration:** DE: Un. Würzburg; TU Dortmund; CH: ETH Zurich; ISDC, Un. Geneva.

\*\* **MAGIC Collaboration:** BG: Institute for Nuclear Research and Nuclear Energy, Sofia. HR: Croatian MAGIC Consortium (Rudjer Boskovic Institute, Un. Rijeka and Un. Split). FI: Finnish MAGIC Consortium (Tuorla Observatory, Un. Turku and Dept. of Physics, Un. Oulu.) DE: DESY, Zeuthen; MPI für Physik, Munich; Un. Würzburg; T. Un. Dortmund; IN: SINP, Kolkata. IT: Un. di Udine, and INFN Trieste; INAF, Rome; Un. Siena and INFN Pisa, Siena; Un. Padova and INFN Padova, Padova; Un. Insubria and INFN Milano, Como. JP: Japanese MAGIC Consortium (ICRR, Un. Tokyo, Tokyo and Division of Physics and Astronomy, Un. Kyoto, Kyoto). PL: Un. Łódź, Lodz. ES: CIEMAT, Madrid; IAC, La Laguna; IFAE-BIST and CERES-IEEC, Un. Autònoma de Barcelona, Barcelona; ICE-CSIC, Barcelona; Un. Barcelona, Barcelona; Un. Complutense, Madrid. CH: ETH, Zurich; ISDC, Un. Geneva.

\*\*\* **LST Collaboration:** BR: CBFP, Rio de Janeiro. FR: CNRS/LAPP, Annecy. DE: MPI für Physik, Munich; Un. Hamburg; Un. Würzburg. HR: FESB, Un. Split. IN: SINP, Kolkata. IT: INFN Bari; Un. Padova and INFN Padova; INFN Perugia; Un. Siena and INFN Pisa, Siena; Un. Udine and INFN Trieste, Udine. JP: ICRR and Un. Tokyo, Tokyo; Un. Kyoto; Un. Ibaraki; Un. Nagoya; Un. Hiroshima; Un. Yamagata; Un. Waseda; Un. Konan; Un. Aoyama; Un. Saitama, Un. Kinki; KEK, Tsukuba; RIKEN and Un. Saitama, Saitama; Un. Tokai, Kanagawa, Un. Tokushima. ES: CIEMAT, Madrid; IAC, La Laguna; IFAE-BIST, Un. Autònoma de Barcelona; ICC, Un. Barcelona; Un. Complutense, Madrid. SE: Un. Stockholm. CH: ETH, Zurich.

**Countries:** BE Belgium; BG Bulgaria; BR Brazil; CH Switzerland; DK Denmark; ES Spain; FI Finland; FR France; DE Germany; HR Croatia; IL Iceland; IN India; IT Italy; JP Japan; MX Mexico; NL Netherlands; NO Norway; PL Poland; SE Sweden; SK Slovakia; UK United Kingdom; US United States of America.





## PREFACIO POR EL PRESIDENTE

Estamos viviendo momentos muy emocionantes en los Observatorios de Canarias, no sólo por la gran calidad de los resultados científicos obtenidos y el desarrollo e incorporación de nuevos instrumentos, sino también por la forma en la que cada vez se integra más y mejor la relación entre propietarios y operadores. En 2015 celebramos el 30 Aniversario de la Inauguración de los Observatorios de Canarias. En esa ocasión en 1985 acogimos más de 600 invitados, además de varios Jefes de Estado y Premios Nobel. En aquel entonces no pudimos haber imaginado el gran crecimiento de nuestra comunidad internacional, ni tampoco los muchos y sorprendentes descubrimientos que hemos alcanzado. Sin duda todo ello es un buen augurio para nuestro futuro ahora que tenemos a la vista unos proyectos aún mayores. Aguardamos con ilusión la terminación y operación del instrumento WEAVE en el WHT y los emocionantes resultados científicos que con ello se obtendrán desde las Islas Canarias.

Tras la transferencia de la propiedad del telescopio Jacobus Kapteyn al IAC en 2014, el IAC llegó a un acuerdo con una asociación de universidades de EEUU "SARA" (la Asociación del Sureste para la Investigación en Astronomía) para modernizar y robotizar el JKT. Este consorcio formado por once universidades, más el IAC, ya opera otros dos telescopios: el SARA-Norte de 0,9 m en Kitt Peak en Arizona y el SARA-Sur de 0,6 m en Cerro Tololo, Chile. <http://saraobservatory.org/>

Estas imágenes fueron tomadas durante la ceremonia de la reinauguración del JKT, a la que acudieron representantes de los operadores de los telescopios en el ORM, así como miembros del Consejo Rector de SARA.

**Dr Colin Vincent**

## PREFACE BY THE PRESIDENT

These are exciting times at the Observatorios de Canarias, not only because of the excellent science that is being achieved and the development and incorporation of new instruments but also in the way that the inter-relationship of the owners and operators continues to become more integrated. 2015 was the 30th Anniversary of the Inauguration of the Observatorios de Canarias when we welcomed over 600 guests and several Heads of State and Nobel Laureates. Back then we couldn't have envisioned just how much our international community has grown or the many outstanding and surprising discoveries achieved. No doubt this bodes well for the future when we have even larger projects on the horizon and we look forward to the completion and operation of the WEAVE instrument on the WHT and the exciting science that this will deliver from the Canary Islands.

After the transfer of ownership of the Jacobus Kapteyn Telescope to the IAC in 2014 an agreement was established by IAC with the Southeastern Association for Research in Astronomy (SARA) to modernize and roboticize the JKT. This consortium of eleven universities, plus the IAC, already operates two other telescopes: the 0.9-m SARA-North at Kitt Peak in Arizona, and the 0.6-m SARA-South at Cerro Tololo in Chile. <http://saraobservatory.org/>

These pictures were taken during the ceremony to mark the re-launch of the JKT, which was attended by representatives of the telescope operators at ORM as well as the members of the SARA Board.

**Dr Colin Vincent**



## INTRODUCCION DEL VICEPRESIDENTE

En 2015 nuestros observatorios han recibido la visita de muy ilustres personalidades cuya presencia y apoyo deseo agradecer desde aquí. Con motivo de la celebración del 30 Aniversario de la Inauguración Solemne de los Observatorios Astrofísicos de Canarias por sus Majestades los Reyes de España en 1985, su Majestad el Rey Felipe VI, visitó al Observatorio del Teide el 27 de junio e inauguró varios nuevos telescopios robóticos, acompañado por destacadas autoridades políticas y científicas, entre ellas la Ministra de Fomento, D<sup>a</sup> Ana Pastor, el Presidente del Gobierno de Canarias, D. Paulino Rivero, la Secretaría de Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación de MINECO, D<sup>a</sup> Carmen Vela y el Presidente del Cabildo de Tenerife, D. Carlos Alonso.

Entre las instalaciones inauguradas destaca el Experimento QUIJOTE, realizado por un consorcio de instituciones hispano-británicas (ver Figuras 1 y 2). También inauguró el Nodo Teide de Las Cumbres Observatory Global Telescope Network, QES (Experimento para la investigación de planetas extra-solares de la Fundación Catarí para la Investigación), MASTER (un telescopio robótico de la Universidad Estatal de Moscú), SLOOH (los telescopios de la Sociedad del Telescopio para la promoción de la astronomía por los aficionados), MAGEC (un telescopio del Observatorio Astronómico de Mallorca)

y las cámaras robóticas AMOS-CI de la Universidad Comenius de Bratislava. Después del acto S. M. El Rey viajó al ORM para realizar observaciones con el GTC.

En el otoño se organizó una ceremonia en el ORM para marcar el emplazamiento del Prototipo del LST (telescopio de 23m de la clase Cherenkov), como primer paso hacia la posible instalación del gran experimento CTA-N (Red de Telescopios Cherenkov en el Hemisferio Norte). Presidió el descubrimiento de la placa el Presidente del Gobierno de Canarias, D. Fernando Clavijo y la Secretaria de Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación, D<sup>a</sup> Carmen Vela. Fueron acompañados en el Acto por, entre otros, el Profesor Kajita, Director del Instituto de Investigación de Rayos Cósmicos de la Universidad de Tokio, quien había recibido unos días antes el Premio Nobel de Física y el Presidente del Cabildo de La Palma, D. Anselmo Pestana (Figuras 3 y 4).

Durante estos actos se puso de manifiesto la calidad sobresaliente de los cielos de Canarias y la excelente infraestructura de los Observatorios, así como la actitud positiva y acogedora de los ciudadanos de Canarias y sus Autoridades. En nombre de cuantos formamos esta comunidad internacional les extendo nuestro sincero agradecimiento y reconocimiento.

**Professor Rafael Rebolo**

## INTRODUCTION BY THE VICE PRESIDENT

During 2015 our Observatories have been visited by many outstanding public figures, whose presence and support I really appreciate. On the occasion of 30th Anniversary of the Official Inauguration of the Observatorios Astrofísicos de Canarias by their Majesties the King and Queen of Spain in 1985, His Majesty King Felipe VI visited the Teide Observatory on June 27 and inaugurated several new robotic telescopes. He was accompanied by important politicians and scientists, such as the Minister for Public Works, Ms Ana Pastor, the President of the Government of the Canary Islands, Mr Paulino Rivero, the Secretary of State for Research, Development and Innovation of the Spanish Ministry for the Economy and Commerce, Ms Carmen Vela and the President of the Cabildo of Tenerife, Mr Carlos Alonso.

Outstanding among the new telescopes is the QUIJOTE Experiment. It is the result of a collaboration between Spain and the UK (see Figures 1 & 2). The following installations were also inaugurated: the Teide Node of Las Cumbres Observatory Global Telescope Network, QES (an extra-solar planets research experiment of the Qatari Foundation for Research), MASTER (a robotic telescope of the Moscow State University), SLOOH (remote controlled telescopes of the Telescope Society for the promotion of astronomy by amateurs), MAGEC (a telescope of

the Observatorio Astronómico de Mallorca) and the robotic cameras AMOS-CI (Comenius University of Bratislava). After the ceremony His Majesty travelled to the ORM to observe on the GTC.

In the autumn there was a ceremony in the ORM at the site of the prototype of the LST (23m class Cherenkov telescope), as the first step towards the possible installation of the major experiment "Cherenkov Telescope Array - Northern Hemisphere". The President of the Canary Islands Government, Mr Fernando Clavijo and the Secretary of State for RDI, Ms Carmen Vela, unveiled the commemorative Plaque. Among those joining them at the event were Professor Kajita, Director of the Institute for Cosmic Ray Research (University of Tokyo), who had received a few days before the Nobel Prize for Physics and the President of the Cabildo of La Palma, Mr Anselmo Pestana (see Figures 3 & 4).

These events highlighted the outstanding quality of the Canary Skies and the Observatories' excellent infrastructure, as well as the positive and friendly attitude of the Canary Islands' people and their authorities. In the name of all of us who make up this international community I offer our sincere thanks and appreciation.

**Professor Rafael Rebolo**

UN MICROCUÁSAR MISTERIOSO EN M81 GTC	13	A MYSTERIOUS MICROQUASAR IN M81 GTC
GTC ABRE UNA VENTANA NUEVA SOBRE EL UNIVERSO MENOS BRILLANTE GTC	14	GTC OPENS A NEW WINDOW ON THE FAINTEST UNIVERSE GTC
UN PROGENITOR DE SUPERNOVA DE TIPO Ia EN UNA NEBULOSA PLANETARIA GTC	16	A SUPERNOVA Ia: THE PROGENITOR IN A PLANETARY NEBULA GTC
COMETA 67P/CHURYUMOV-GERASIMENKO WHT E INT	17	COMET 67P/CHURYUMOV-GERASIMENKO WHT & INT
ESTUDIO DE LAS CAPAS FOTOSFÉRICAS ... GREGOR	18	DEEP PROBING OF THE PHOTOSPHERIC... GREGOR
CAMPOS MAGNÉTICOS DE POLARIDAD OPUESTA EN PENUMBRAS DE MANCHAS ... GREGOR	20	MAGNETIC FIELDS OF OPPOSITE POLARITY IN SUNSPOT PENUMBRA GREGOR
PUENTES DE LUZ CON CAMPOS MAGNÉTICOS INUSUALMENTE FUERTES GREGOR	21	LIGHT-BRIDGES WITH UNUSUALLY HIGH MAGNETIC FIELDS GREGOR
EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE ESTELAR STELLA-II & SES	22	STELLAR-SURFACE EVOLUTION STELLA-II & SES
EL ESTUDIO DE CÚMULOS ABIERTOS STELLA STELLA-I Y WIFSIP	23	THE STELLA OPEN CLUSTER SURVEY STELLA-I Y WIFSIP
TRIPLE SUPERNOVA WHT - GH $\alpha$ FaS	26	TRIPLE SUPERNOVA WHT - GH $\alpha$ FaS
HD219134: UN PLANETA ROCOSO A SÓLO 20 AÑOS LUZ DE DISTANCIA TNG - Harps-N	27	HD219134: A ROCKY PLANET AT ONLY 20 LIGHT YEARS DISTANCE TNG - Harps-N
EL TRÁNSITO DE LA TIERRA DE 2014 VISTO DESDE JÚPITER TNG - Harps-N	28	THE 2014 EARTH TRANSIT AS SEEN FROM JUPITER TNG - Harps-N

## LOGROS CIENTÍFICOS

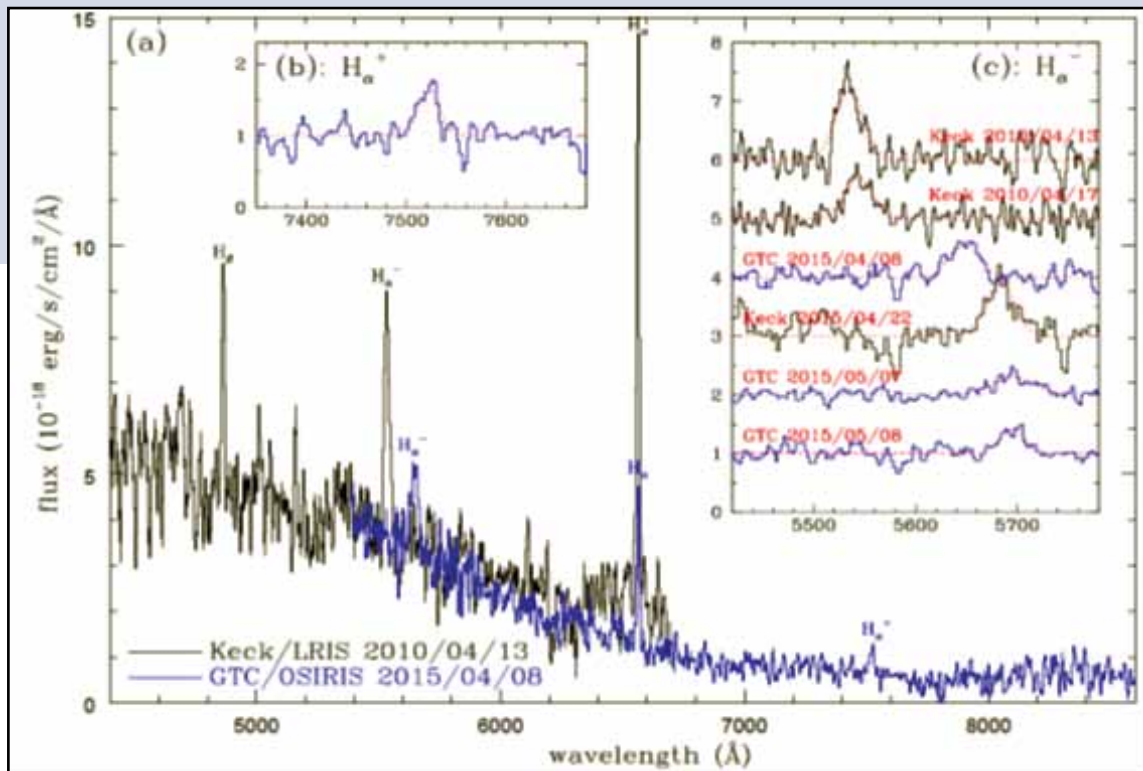
## SCIENTIFIC HIGHLIGHTS

## UN MICROCUÁSAR MISTERIOSO EN M81 GTC

Los microcuásares son estrellas binarias en interacción compuestas por una estrella masiva y un objeto compacto (ver representación artística). La acreción en el objeto compacto produce una emisión de radiación intensa y variable, normalmente en forma de chorros simétricos de materia expulsados en direcciones opuestas. Gracias al OSIRIS@GTC y la espectroscopia Keck se pudo descubrir la presencia de chorros relativistas (moviéndose al 17 % de la velocidad de la luz) en la fuente ULS-1 en la galaxia cercana M81 (Figura 2). Todas las propiedades del microcuásar M81 ULS-1 apuntan a la presencia de un agujero negro acrecentándose a velocidades muy superiores al límite crítico de Eddington. La posible existencia de este tipo de agujeros negros «superacretantes» lleva siendo fuente de especulación e investigación desde hace años, y este resultado es una de las primeras evidencias de su existencia.



*Fig 2: Espectros del GTC y del Keck del microcuásar ULS-1 en M81. En los recuadros (b) y (c) se muestran los componentes con variación temporal desplazados al rojo y al azul de la línea de H $\alpha$ .*



*Fig 2: GTC and Keck spectra of the microquasar ULS-1 in M81. In insets (b) and (c), the red and blue-shifted, time-variable components of the H $\alpha$  line are shown.*

## A MYSTERIOUS MICROQUASAR IN M81 GTC

Microquasars are interacting binary stars composed by a massive star and a compact object (see artistic representation). Accretion on the compact object produces an intense and variable radio emission, normally in the form of symmetric jets of matter ejected in opposite directions. OSIRIS@GTC and Keck spectroscopy allowed to discover the presence of relativistic jets (moving at 17% the speed of light)

in the source ULS-1 in the nearby galaxy M81 (Figure 2). All properties of M81 ULS-1 microquasar point to the presence of a black hole accreting at rates far exceeding the critical Eddington limit. The possible existence of this type of “superaccreting” black holes had been a source of speculation and research for years, and this result points to a first evidence of its existence.

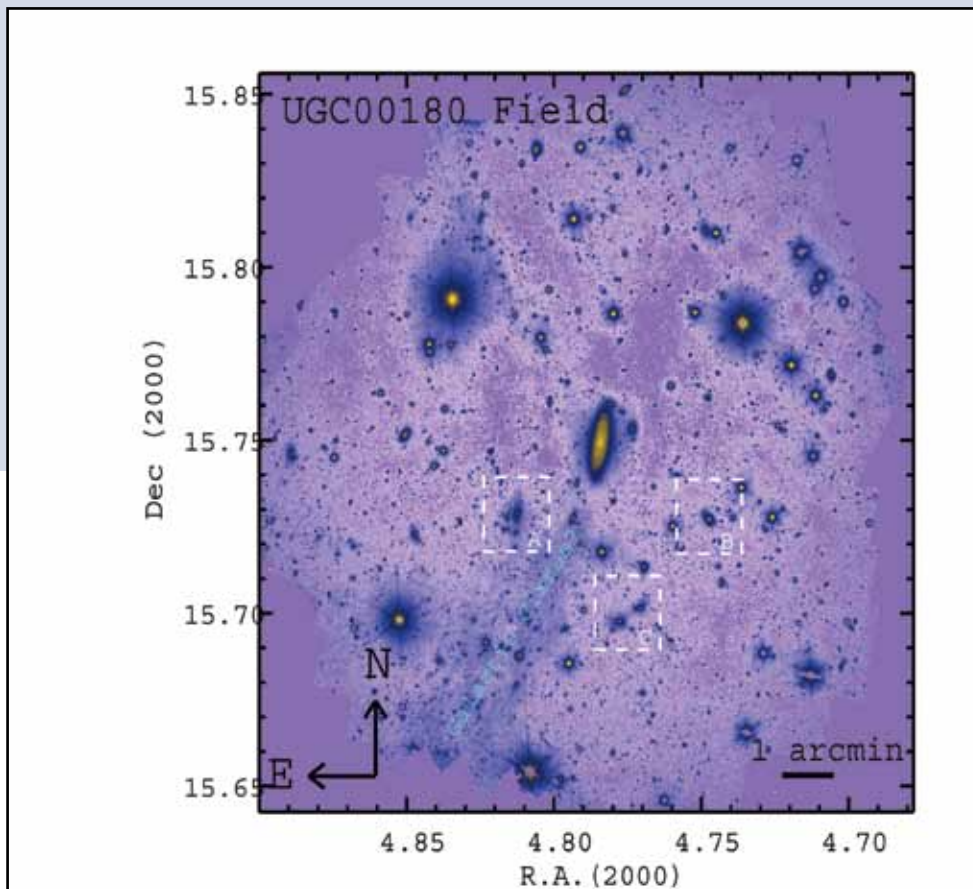
**GTC ABRE UNA NUEVA VENTANA AL UNIVERSO MENOS BRILLANTE**  
**GTC**

Una de las predicciones teóricas más importantes del actual modelo de formación de galaxias es la presencia de un gran número de estrellas en las partes más externas de las galaxias. Estas estrellas estarían rodeando el cuerpo principal de las galaxias formando lo que se conoce como un halo estelar. Este halo es el resultado de la destrucción de otras galaxias menores que han ido cayendo a la galaxia central. La cantidad de estrellas en el halo estelar esperada para una galaxia como la Vía Láctea es

aproximadamente una centésima parte del número de estrellas total de la galaxia. Los halos estelares se extienden sobre un gran volumen, que es varias veces el tamaño de las galaxias. Por este motivo, debido a su escaso número de estrellas, el brillo superficial de los halos estelares de las galaxias es extremadamente débil. Como resultado de esto,

*Imagen ultraprofunda de la galaxia UGC00180 y sus alrededores obtenida con el telescopio GTC en el filtro óptico r. Junto con la galaxia central pueden verse*

*un gran de número objetos astronómicos distantes: a) un cúmulo de galaxias, b) una galaxia destruyendo un satélite y c) una fusión de dos grandes galaxias. Además destacan la presencia de estructuras filamentosarias extendidas que probablemente sean cirros de polvo de la Vía Láctea en la línea de visión.*



*Ultradeep image of the UGC00180 Galaxy and its surroundings as obtained with the GTC in the r optical filter. Along with the central galaxy many distant astronomical objects can be seen: a) a galaxy cluster, b) a galaxy destroying its satellite and c) a fusion of two large galaxies. Another*

*outstanding feature is the presence of extended filaments that are probably cirrus dust clouds in the Milky Way that are in the line of sight.*

**GTC OPENS A NEW WINDOW ON THE FAINTEST UNIVERSE**  
**GTC**

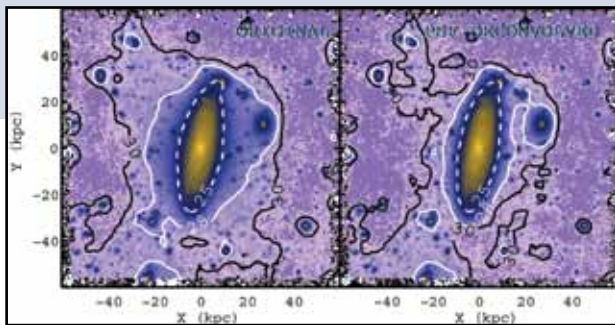
One of the most important theoretical predictions of the present model of galaxy formation is the presence of a large number of stars in the outer parts of galaxies. These stars would surround the main body of the galaxies forming what is known as a stellar halo. This halo is the result of the destruction of other smaller galaxies that have fallen onto the central galaxy. The expected number of stars in the stellar halo for a galaxy like the Milky Way is about one hundredth of the total number of stars in the

galaxy. Stellar halos are spread over a large volume, which is several times the size of the galaxy. For this reason, because of its small number of stars, the surface brightness of a galaxy's stellar halo is extremely weak. Therefore, it had only been possible to study the stellar halos of a few of the Milky Way's neighbourhood galaxies, such as Andromeda. A limited number of galaxies is not enough to check the model of galaxy formation. In fact, in order to test the theory, you need to explore these halos

sólo se han podido estudiar los halos estelares de unas pocas galaxias vecinas a la Vía Láctea, como Andrómeda. Pero, para poder comprobar la teoría de formación de las galaxias, es necesario explorar estos halos usando muestras de varios centenares de galaxias. Esto, hasta el día de hoy, era simplemente imposible debido a la falta de imágenes ultraprofundas de galaxias cercanas.

Se ha utilizado el telescopio GTC para probar los límites de brillo superficial a los que se puede llegar con los telescopios más grandes del mundo. Para llevar a cabo esta tarea hicimos la imagen más profunda que se ha hecho de una galaxia cercana: UGC00180. Esta es una galaxia muy parecida a la nuestra, pero está localizada unas 200 veces más lejos. Tras realizar una exposición de 8.1 horas con GTC se obtuvo una imagen que es unas 10 veces más profunda que cualquier imagen anterior obtenida desde Tierra, llegando a un límite de detección de 31.5 mag arcsec<sup>2</sup>.

**Corrección del efecto de la turbulencia atmosférica en la imagen ultraprofunda de GTC. En la izquierda se muestra la imagen original, en la derecha la imagen corregida. Puede apreciarse la estructura filamentosa del halo estelar alrededor de la galaxia UGC00180 una vez corregido el efecto atmosférico.**



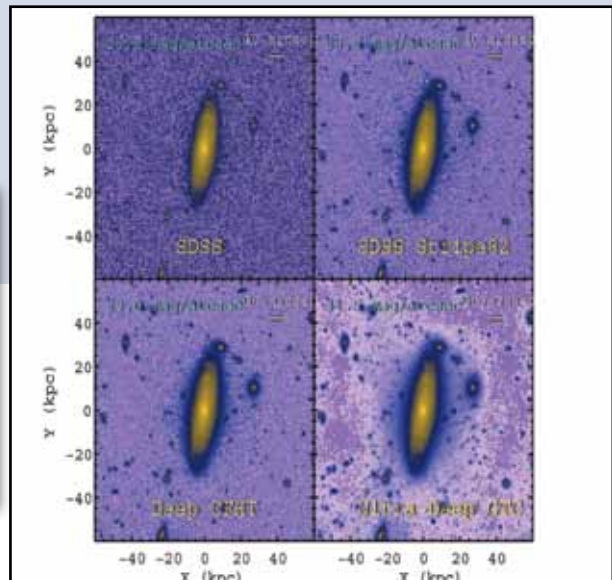
**Correction of the distortion produced by atmospheric turbulence in the ultra-deep GTC image. On the left the original image and on the right the corrected image. In the corrected image the filament structure of the stellar halo around the UGC00180 Galaxy is visible.**

using samples of several hundred galaxies. This, until now has been simply impossible due to a lack of ultra-deep images of nearby galaxies.

This telescope was used to test the limits of surface brightness that can be reached with the world's largest telescopes and this was accomplished by obtaining the deepest image ever of the nearby galaxy UGC00180. This galaxy is very similar to Andromeda, however it is located about 200 times farther away. An 8.1 hour exposure with GTC produced an image that is about 10 times deeper than any previous image obtained from the ground, reaching a detection limit of 31.5 mag/arcsec<sup>2</sup>.

Gracias a esta imagen ha podido comprobarse que alrededor de la galaxia UGC00180, tal como predice la teoría, existe un débil halo de estrellas. Este halo contiene alrededor de cuatro mil millones de estrellas, lo que es similar a la cantidad de estrellas que tienen las nubes de Magallanes, galaxias satélites de la Vía Láctea.

**La galaxia UGC00180 a diferentes niveles de profundidad: a) profundidad del cartografiado SDSS, el cartografiado del cielo más usado por los astrónomos; b) profundidad del SDSS Stripe82, un cartografiado muy profundo de un área ecuatorial del cielo; c) profundidad obtenida con el telescopio CFHT especializado en imágenes muy profundas del cielo; d) profundidad alcanzada con GTC. La imagen ultraprofunda de GTC muestra detalles 6000 veces más débiles que el cielo más oscuro observable desde la Tierra. Es importante observar como emerge un halo estelar alrededor de la galaxia que es sólo visible en la imagen ultraprofunda de GTC.**



**The UGC00180 Galaxy at different levels of depth: a) the depth achieved by the SDSS survey, which is the one most used by astronomers; b) the depth achieved by the SDSS Stripe82, a very deep survey of an equatorial area of the sky; c) the depth achieved with the CFHT, which specialises in very deep images of the sky; d) the depth reached by the GTC. This ultra-deep image shows details that are 6000 times weaker than the darkest sky observable from the Earth. Note how a stellar halo emerges round the galaxy that is only visible in the ultra-deep GTC image.**

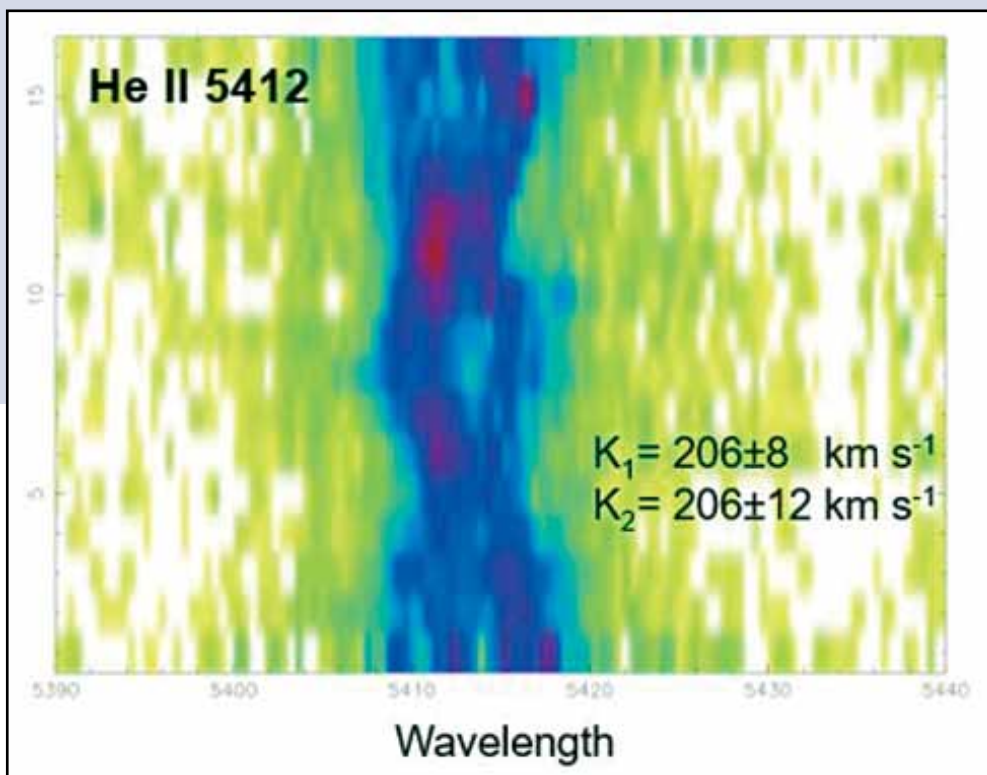
This image has proved that around the UGC00180 galaxy there is a faint halo of stars, as predicted by the theory. This halo contains about four billion stars, which is similar to the number of stars in the Magellanic Clouds, which are satellite galaxies of the Milky Way.

## UN PROGENITOR DE SUPERNOVA DE TIPO Ia EN UNA NEBULOSA PLANETARIA GTC

Por lo general se considera que las supernova de tipo Ia, de gran relevancia cosmológica, son explosiones termonucleares de enanas blancas con una masa cercana o superior al límite de Chandrasekhar. Dicha masa puede alcanzarse por acreción de una compañera cercana (modelo degenerado simple) o a través de la fusión con otra estrella compacta (modelo degenerado doble). Hasta la fecha, existen evidencias muy limitadas sobre progenitores potenciales de las SN Ia de ambos canales evolutivos. Las observaciones obtenidas con el GTC usando OSIRIS identificaron al candidato más prometedor para ser el progenitor de una SN Ia dentro del modelo degenerado doble. El objeto es la estrella central

de la nebulosa planetaria Henize 2-428, que resultó ser un sistema binario con un periodo orbital de 4,2 horas, hallado gracias a una monitorización fotométrica realizada con varios telescopios del ORM. Las observaciones espectroscópicas con OSIRIS@GTC (Figura 1) permitieron determinar la masa dinámica del sistema. Se concluyó que Henize 2-428 cuenta con una estrella central degenerada doble con una masa total de  $\sim 1,8$  masas solares, muy por encima del límite de Chandrasekhar. Su corto periodo orbital indica que las dos estrellas se fusionarán dentro de 700 millones de años, generando una SN Ia.

*La evolución temporal del espectro obtenido por el GTC de la estrella central de Henize 2-428 que muestra los componentes de absorción de He-II (color azul) de ambas enanas blancas a medida que su desplazamiento al rojo cambia a lo largo del periodo orbital (eje vertical).*



## A SUPERNOVA Ia: THE PROGENITOR IN A PLANETARY NEBULA GTC

It is generally agreed that the cosmologically important Type Ia supernovae (SN Ia) are thermonuclear explosions on white dwarfs with a mass near or above the Chandrasekhar limit. Such a mass can be reached by accretion from a nearby companion (single-degenerate channel), or via a merger with another compact star (double-degenerate channel). Observationally, there is very limited evidence of potential progenitors of SN Ia from either evolutionary channels. Observations obtained with the GTC using OSIRIS identified the most promising candidate to a SN Ia progenitor within the double-degenerate scenario. The object is the central star of the planetary

*GTC trailed spectrum of the central star of Henize 2-428, showing the HeII absorption components (blue colour) from both white dwarfs as their redshift changes over the orbital period (vertical axis).*

nebula Henize 2-428, which was found to be a binary system with an orbital period of 4.2 hours by means of photometric monitoring at various ORM telescopes. Spectroscopic observations with OSIRIS@GTC (see figure above) allowed determination of the dynamical mass of the system. It is concluded that Henize 2-428 has a double-degenerate central star with a total mass of  $\sim 1.8$  solar masses, well above the Chandrasekhar limit. Its short orbital period indicates that the two stars should merge within 700 million years triggering a SN Ia event.



## COMETA 67P/CHURYUMOV-GERASIMENKO WHT & INT

El cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko ha ocupado titulares en los últimos 18 meses por ser el único cometa en el que ha aterrizado una nave espacial. La misión Rosetta de la ESA, que ha orbitado el cometa en su viaje alrededor del Sol, junto con su sonda de aterrizaje, Philae, ha sido un éxito rotundo, pero las observaciones complementarias desde la Tierra, con sus vistas panorámicas del cometa a escalas de decenas de miles de kilómetros, han proporcionado un complemento esencial a los datos de la misión espacial, que exploró los aspectos más recónditos del cometa.

Tanto el WHT como el INT han desempeñado un papel importante en los trabajos realizados desde la Tierra, especialmente a la hora de proporcionar observaciones únicas cuando el cometa pasó por el punto más cercano al Sol de su trayectoria y experimentó los niveles de actividad más elevados.

El WFC (Camera de campo ancho) en el INT proporcionó imágenes especialmente detalladas de la coma y la cola del cometa (véase figura), que muestra la cola del cometa a lo largo del campo, cubriendo una extensión de casi diez millones de kilómetros.

## COMET 67P/CHURYUMOV-GERASIMENKO WHT & INT

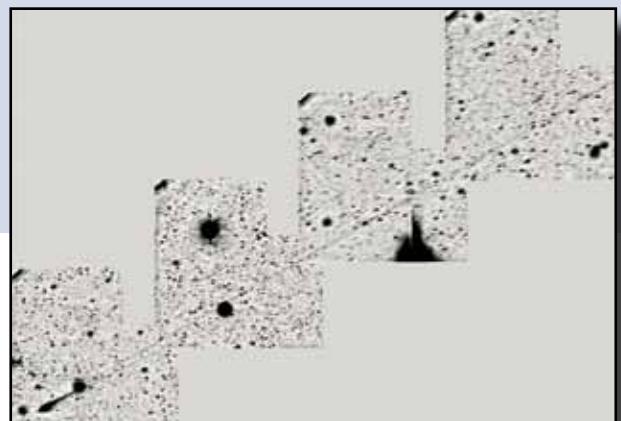
Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko has been in the headlines over the past 18 months as the only comet on which a spacecraft has landed. The ESA Rosetta mission, which has orbited the comet as it journeyed around the Sun, along with its lander probe, Philae, has been an overwhelming success, but complementary ground-based observations, with their panoramic views of the comet on scales of tens of thousands of kilometers, have provided an essential complement to the space mission's data, which explored the innermost aspects of the comet.

Both the WHT and INT have played important roles in this ground-based effort, especially in providing unique observations as the comet passed closest to the Sun and experienced its highest levels of activity. The WFC (wide field camera) on the INT provided especially sensitive images of the coma and tail of the comet (see figure above), which shows the comet's tail stretching across the field, over an extension of almost ten million km.

ISIS en el WHT, gracias a su sensibilidad sin parangón a la luz UV cercana, se usó para medir la liberación de agua del cometa en su paso por el Sol.

Esas observaciones de luz UV emitidas por moléculas de OH (formadas cuando la luz solar rompe las moléculas de agua del cometa) a una longitud de onda de 3080 Angstroms, se realizaron durante el crepúsculo, cuando el cometa estaba tan bajo en el cielo que la atmósfera de la Tierra bloqueaba el 97 % de su luz UV entrante. Sin embargo, ISIS fue capaz de detectar claramente la emisión de OH gaseoso en esas condiciones extremas de observación, permitiendo a los astrónomos calcular que el cometa liberaba unos 90 kg de agua por segundo a su paso frente al Sol.

*Hubo que cambiar la posición de la cámara de campo ancho INT cuatro veces para poder captar la cola de polvo de 10 millones de kilómetros del cometa 67P-Churyumov-Gerasimenko, extendiéndose a lo largo de 2,3 grados en el cielo.*



*Four pointings of the INT Wide-Field Camera were needed to show the 10 million km dust tail of comet 67P-Churyumov-Gerasimenko stretching across 2.3 degrees on the sky.*

ISIS on the WHT, thanks to its unparalleled sensitivity to near-UV light, was used to measure the release of water from the comet as it passed the Sun. These observations of UV light emitted by OH molecules (formed as sunlight breaks up water molecules in the comet) at a wavelength of 3080 Angstroms, were made in twilight when the comet was so low in the sky that the Earth's atmosphere blocked 97% of this incoming UV light. Nonetheless ISIS was able to make a clear detection of the OH gas emission in these extreme observing conditions, allowing astronomers to calculate that some 90 kg of water was being released from the comet every second as it passed by the Sun.

## ESTUDIO DE LAS CAPAS FOTOSFÉRICAS MÁS PROFUNDAS DE LAS MANCHAS SOLARES: NO SE ENCUENTRAN REGIONES VACÍAS DE CAMPO MAGNÉTICO.

GREGOR

El brillo de la superficie solar depende de la cantidad de energía que se transporta desde su interior hasta la superficie. En la granulación (ver Figura 1) este transporte ocurre por medio de movimientos convectivos: burbujas de plasma caliente/brillantes que suben, y burbujas de plasma frío/oscuras que bajan (p.ej. similar al agua hirviendo).

Sin embargo, en las manchas solares, el campo magnético impide la formación de movimientos convectivos, lo cual limita la cantidad de energía transportada hasta la superficie y, por tanto, hace que las manchas solares aparezcan más oscuras (p.ej. la zona central de las manchas llamada "umbra"). La penumbra (región de apariencia filamentaria que rodea a la umbra) es bastante brillante a pesar de la presencia de un campo magnético significativo.

Algunos científicos han planteado la hipótesis que, bajo la penumbra no hay campo magnético. Esto permitiría la aparición de movimientos convectivos que serían capaces de explicar el alto brillo penumbral. Con la ayuda de este nuevo telescopio solar, con su espejo primario de 1.5 metros de diámetro (el

segundo telescopio solar más grande del mundo), se ha estudiado el campo magnético en las capas por debajo de la penumbra donde se ha descubierto que el campo magnético allí sigue siendo bastante fuerte (1000-1500 Gauss; ver Figura 2). Esto significa que la convección debe ocurrir en presencia de un campo magnético significativo. Se desconoce la manera como esto puede suceder y por tanto este es un tema de investigación muy importante en la actualidad.

**Figura 1: Brillo normalizado en la superficie solar. Las zonas más brillantes (valores cercanos a 1.0) corresponden a la granulación, donde el campo magnético es muy débil y los movimientos convectivos son significativos, permitiendo que la energía se transporte de forma muy eficiente. La zona más oscura (valores de 0.6-0.7) corresponde a la umbra. Aquí el campo magnético es muy fuerte y por tanto el transporte de energía es altamente ineficiente. La zona filamentaria que rodea a la umbra, con valores de brillo en torno a 0.9, se denomina penumbra.**

**Figura 2: Imagen re-escalada de la zona penumbral dentro del recuadro rojo en la Figura 1. Los colores indican el valor del campo magnético en las capas inmediatamente por debajo de la superficie solar. Los valores del campo magnético en la penumbra están siempre por encima de 1000-1500 Gauss. En consecuencia, el brillo de la penumbra (ver Figura 1) sólo puede explicarse si los movimientos convectivos ocurren en presencia de fuertes campos magnéticos.**

## DEEP PROBING OF THE PHOTO-SPHERIC SUNSPOT PENUMBRA: NO EVIDENCE FOR MAGNETIC FIELD-FREE REGIONS.

GREGOR

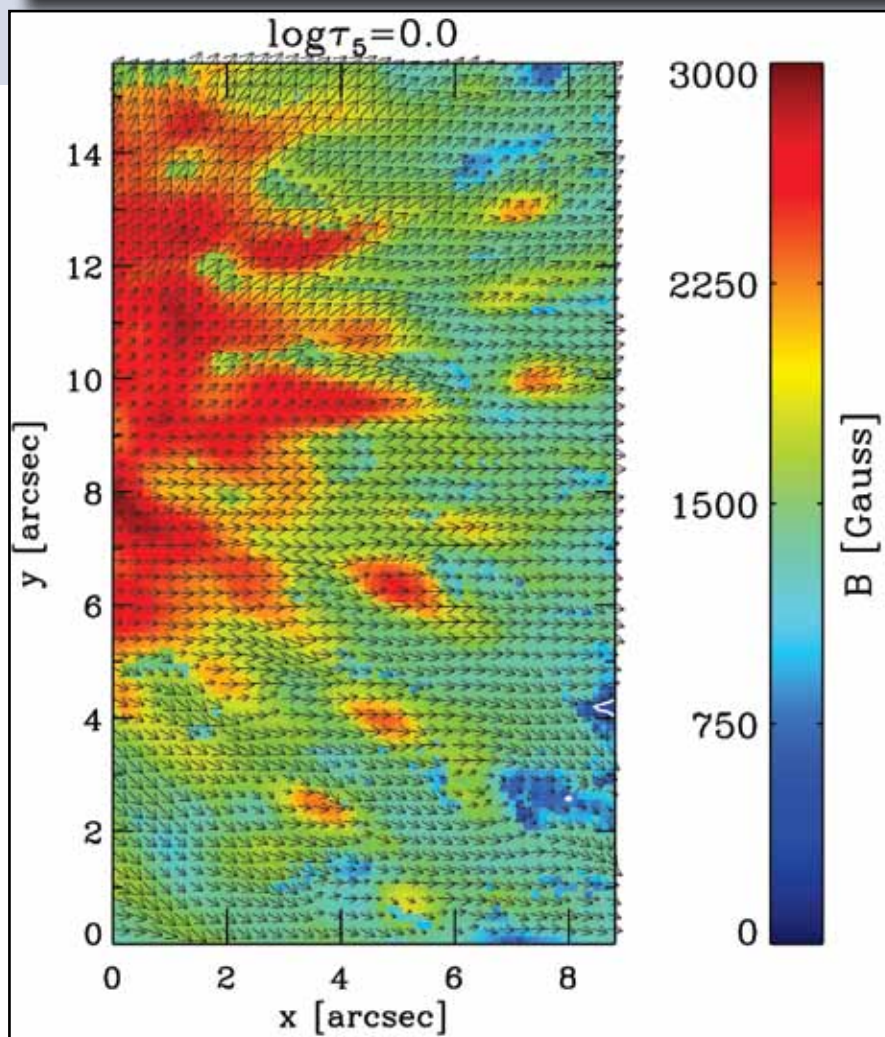
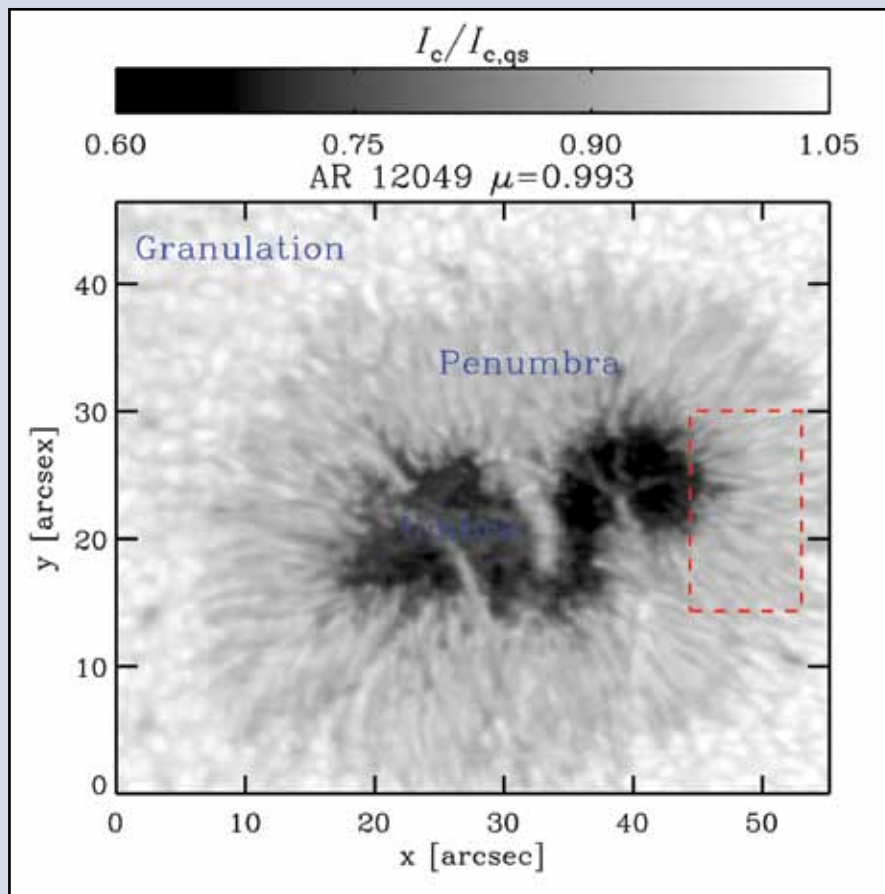
The brightness of the solar surface depends on the amount of energy transported from its interior towards its surface. In the granulation (see Figure 1) this transport occurs by means of convective motions: plasma bubbles of hot/bright plasma moving upwards and plasma bubbles of cool/dark plasma moving downwards (e.g. what happens in boiling water).

In Sunspots however, the magnetic field inhibits these convective movements, hindering the energy transport and making it appear darker (i.e. central region of the sunspot called sunspot umbra). The penumbra (i.e. filamentary region surrounding the umbra) appears quite bright in spite of the presence of a strong magnetic field. Some scientists have surmised that there is no magnetic field deep underneath the penumbra. This would allow strong convection to take place, thereby transporting enough energy to the surface and hence the bright penumbra.

**Fig. 1: Normalized brightness on the solar surface. The brightest region (values close to 1.0) corresponds to the granulation, where the magnetic field is very weak and convective movements are strong, allowing for an efficient energy transport. The darkest region (values of about 0.6-0.7) correspond to the sunspot umbra. This is where the magnetic field is strongest and the energy transport least efficient. The filamentary region surrounding the umbra, with brightness values of about 0.9, is called the penumbra.**

**Fig. 2: Zoom in of the penumbral region enclosed within the red rectangle of Figure 1. Colors represent the magnetic field strength in the layer immediately underneath the visible surface of the Sun. The values of the magnetic field in the penumbra are always above 1000-1500 Gauss. Therefore, the brightness of the penumbra (see Figure 1) can only be explained if convection takes place within a strong magnetic field.**

This new 1.5-meter Telescope is the second largest solar telescope in the world. It has been used to investigate the magnetic field underneath the visible surface of the penumbra and it was found that, even at this depth, the field is very strong (1000-1500 Gauss; see Figure 2). This means that convection must occur even in the presence of a magnetic field. How this happens is currently unknown, making this a very important field of research.



## CAMPOS MAGNÉTICOS DE POLARIDAD OPUESTA EN PENUMBRAS DE MANCHAS SOLARES

GREGOR

La interacción entre el campo magnético y el plasma solar en la penumbra es importante a la hora de entender las manchas solares. El flujo de plasma retorna bajo la superficie solar en la penumbra exterior, donde se encuentran fuertes corrientes descendentes. En cuanto al campo magnético, este flujo de retorno no es detectable en magnetogramas estándar. Anteriormente se usaban los llamados perfiles de tres lóbulos Stokes V de líneas espectrales en la franja visible para estudiar indirectamente las huellas de este flujo de retorno 'oculto'. Las cifras descubiertas en estos estudios coinciden con los resultados de las simulaciones magnetohidrodinámicas de manchas solares. Dado que este campo magnético -oculto- está situado en la fotosfera profunda, y dado que las líneas de infrarrojo cercano recogen una capa fina cerca de la superficie solar, los datos del espectrógrafo de infrarrojo Gregor (GRIS) son los más adecuados para detectar directamente las huellas del flujo de retorno de las penumbras.

El análisis sistemático de un gran número de conjuntos de datos IR de alta calidad del GRIS y de conjuntos de datos de la franja visible obtenidos por el espectropo-

## MAGNETIC FIELDS OF OPPOSITE POLARITY IN SUNSPOT PENUMBRAE

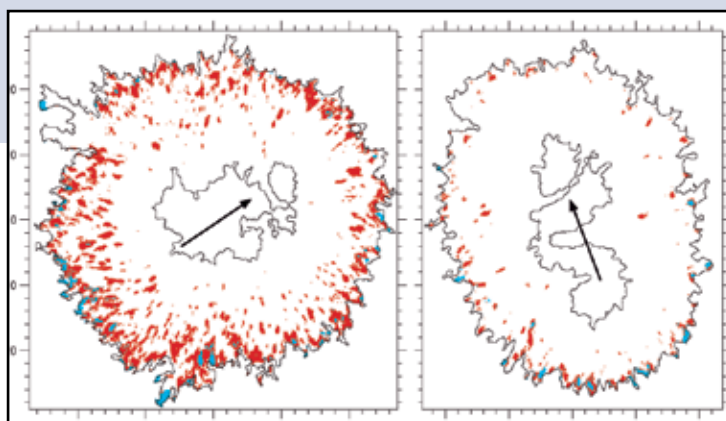
GREGOR

The interplay between the magnetic field and the solar plasma in the penumbra is important for our understanding of Sunspots. The plasma flow returns below the solar surface in the outer penumbra where strong downdrafts are located. For the magnetic field, this return flux is not detectable in standard magnetograms. In the past, so-called 3-lobe Stokes V profiles of spectral lines in the visible have been used to study the signatures of this 'hidden' return flux indirectly. The numbers found from these studies agree with the results from magnetohydrodynamic simulations of sunspots. Since this 'hidden' magnetic field is located in the deep photosphere and since near infrared (IR) lines sample a thin layer close to the solar surface, data from the Gregor Infrared Spectrograph (GRIS) is best suited to directly detect the signature of the penumbral return flux.

A systematic analysis of a large number of high quality IR data sets from GRIS and visible data sets obtained by the spectropolarimeter onboard the space-borne solar telescope Hinode, yield a puzzling picture. The figure presents an example of this comparison. While the area of the directly detectable penumbral return

flux (blue) is comparable in the visible and IR datasets, the area of indirectly detectable return flux (red) is significantly larger in the visible dataset compared to the IR dataset. At the moment there is no conclusive explanation why there is less magnetic field of opposite polarity detected close to the solar surface, and further research is required to understand the results.

*Campos magnéticos penumbrales retornando bajo la superficie. El panel de la izquierda muestra los resultados de nuestro estudio usando la línea de Fe I de 630,25 nm del espectropolarímetro Hinode. El panel derecho muestra los resultados del estudio para la línea de Fe I de 1566,20 nm del espectrógrafo de infrarrojo Gregor. Las regiones en las que los campos magnéticos vuelven al interior del Sol están coloreadas de azul, si se pueden medir directamente y en rojo, si sólo se pueden medir indirectamente usando perfiles Stokes V de tres lóbulos. Los contornos negros señalan los límites de luz blanca de las manchas solares, mientras que la flecha señala el centro del disco solar.*



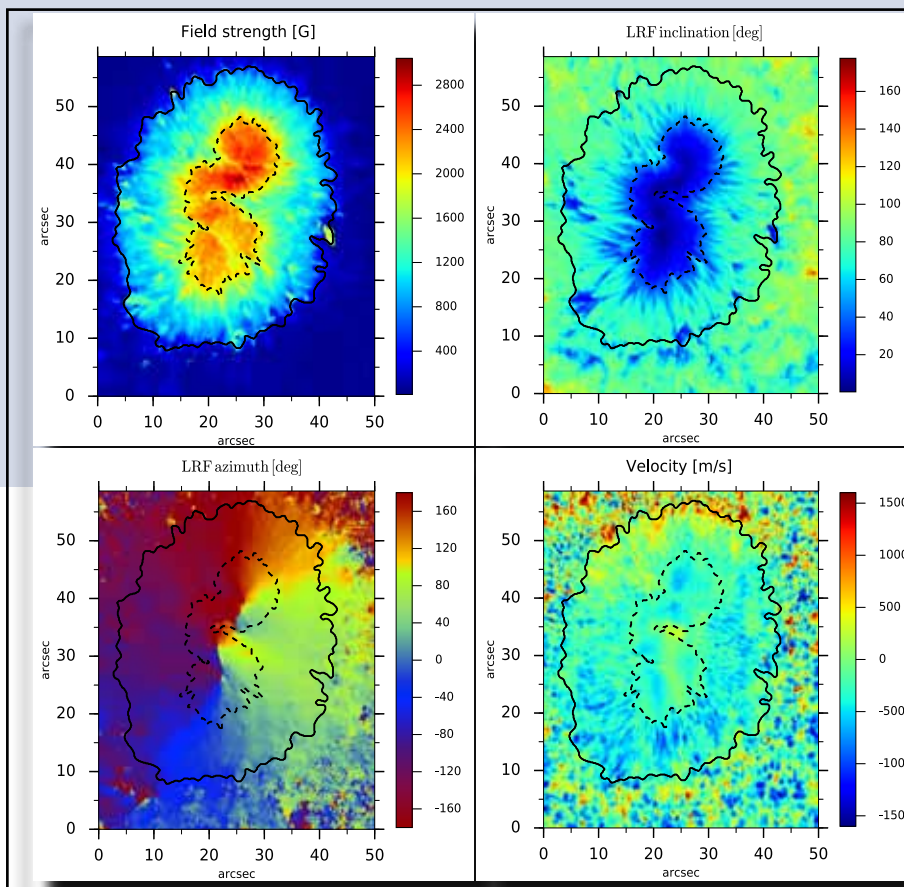
*Penumbral magnetic fields returning below the surface. The panel on the left shows the results from our study using the Fe I 630.25 nm line of the Hinode spectropolarimeter. The right panel depicts the results for the study for the Fe I 1566.20 nm line of the Gregor Infrared Spectrograph. The regions where the magnetic fields return into the solar interior is colored in blue if it can be measured directly, and it is colored in red if this is only indirectly possible using 3-lobe Stokes V profiles. The black contours outline the white light boundary of the sunspots, while the arrow points towards the center of the solar disk.*

flux (blue) is comparable in the visible and IR datasets, the area of indirectly detectable return flux (red) is significantly larger in the visible dataset compared to the IR dataset. At the moment there is no conclusive explanation why there is less magnetic field of opposite polarity detected close to the solar surface, and further research is required to understand the results.

## PUENTES DE LUZ CON CAMPOS MAGNÉTICOS INUSUALMENTE FUERTES GREGOR

Por lo general la penumbra de una mancha solar consiste en un núcleo oscuro, puentes de luz y puntos de penumbra. Los puentes de luz son regiones brillantes en la penumbra de las manchas solares. Hasta ahora siempre se ha creído que poseen un campo magnético horizontal y más débil que el campo magnético de la umbra. Sin embargo nuevas observaciones con este telescopio han demostrado que éste no es el caso.

Las observaciones espectropolarimétricas en el infrarrojo cercano (parte del espectro cuya longitud de onda es mayor, pero no mucho más, que la luz visible) de una mancha solar con tres puentes de luz, han permitido obtener, mediante la aplicación de métodos de inversión, la estructura del campo magnético y velocidad en la totalidad de la mancha. En dos de los puentes de luz el campo magnético no es horizontal sino vertical. Además, en uno de los puentes de luz el campo es tan fuerte como en la umbra. Esto sugiere que no todos los puentes de luz se forman a partir de los mismo procesos físicos (magnetoconvectivos).



*(arriba-izquierda) Intensidad del campo magnético; (arriba-derecha) inclinación del campo (valores de 0/90 grados indican campos magnéticos verticales/horizontales, respectivamente); (abajo-izquierda) azimuth del campo magnético; (abajo-derecha) velocidad del plasma.*

*(top-left) Magnetic field strength; (top-right) inclination of the magnetic field (values of 0/90 degrees indicate vertical/horizontal directions, respectively); (bottom-left) azimuth of the magnetic field; (bottom-right) velocity.*

## LIGHT-BRIDGES WITH UNUSUALLY HIGH MAGNETIC FIELDS GREGOR

A sunspot umbra usually consists of a dark umbral core, light bridges, and umbral dots. Light bridges are bright elongated structures in the umbra of sunspots. As such, they are believed to possess a weaker and horizontal magnetic field than that of the umbra. New observations carried out with this telescope reveal that this is not necessarily the case.

Spectropolarimetric observations in the near-infrared (the region of the spectra whose wavelength is larger, but not much, than that of the visible light) of a sunspot with three light-bridges made it possible to infer, via so-called inversion methods, the magnetic field and velocity structure of the entire sunspot. The magnetic field in two of the light-bridges is not horizontal, but instead is as vertical as in the umbra. In addition, the magnetic field in one of the three light-bridges is as strong as that of the umbra. These results indicate that different kinds of light-bridges might be formed by slightly different physical (i.e. magneto-convective) processes.

## EVOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE ESTELAR STELLA-II & SES

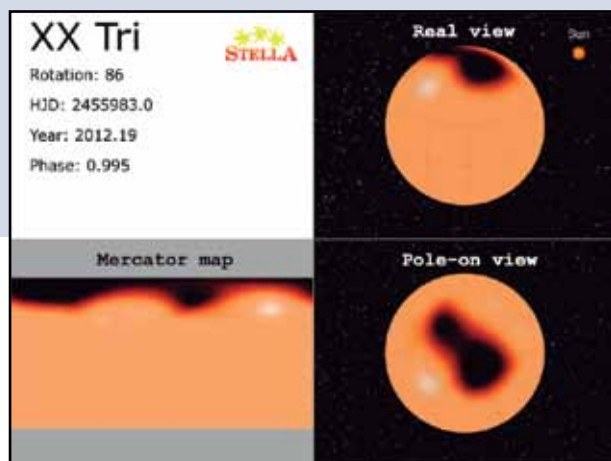
Por primera vez ha sido posible producir un vídeo de la evolución de la superficie de una estrella que está más allá de nuestro sistema solar. Se logró mediante la conversión en una película de la superficie total de la estrella gigante roja XX Tri un total de 667 espectros de alta resolución obtenidos con STELLA-II SES. Estos cubren un total de 86 periodos rotacionales de la estrella. La imagen Doppler adjunta muestra una captura del mismo momento en tres tipos diferentes de proyección: una proyección esférica de cómo veríamos la estrella con nuestros ojos («vista real»), una proyección Mercator, en la que se puede ver la superficie total de una sola vez («mapa Mercator») y una «visión polar», como si estuviéramos mirando desde arriba al único polo de rotación visible de la estrella. El tamaño del Sol en el panel de vista real está representado a escala.

El vídeo revela una distribución de manchas estelares con una morfología siempre cambiante, así como fragmentación de manchas y fusión de manchas, y con aparentemente un amplio rango de escalas temporales de variabilidad. La velocidad de desintegración de manchas estelares (magnéticas) es de gran interés, ya que está directamente relacionada con la difusividad magnética en la

capa convectiva de la estrella, lo que a su vez es una magnitud clave para la longitud de un ciclo de actividad magnética. Los datos de STELLA permiten la determinación más directa de la difusividad magnética de cualquier estrella que no sea el Sol hasta la fecha, y predicen un ciclo de actividad de  $26 \pm 6$  años. Este valor corresponde a la perfección con los resultados de la monitorización fotométrica a largo plazo. El vídeo puede descargarse de la página de actividad estelar en el AIP.

Enlace al vídeo de la XX Tri <http://www.aip.de/en/research/research-area-cmf/cosmic-magnetic-fields/stellar/stellar-activity/>

***Una serie temporal única de imágenes Doppler del STELLA muestran que la superficie de la estrella XX Tri está cubierta con grandes manchas a altas latitudes, incluso en la región polar. Se ha podido ver una distribución y morfología de manchas que está cambiando sistemáticamente, así como degeneración y formación de manchas durante un periodo de tan sólo seis años.***



***A unique time-series of Doppler images from STELLA shows that the surface of the star XX Tri is covered with large high-latitude and even polar spots. Just over the course of six years, a systematically changing spot distribution and morphology such as spot decay and formation is seen.***

## STELLAR-SURFACE EVOLUTION STELLA-II & SES

For the first time a movie of stellar-surface evolution beyond our solar system has been produced. This was achieved by inverting into a movie of the stellar surface a total of 667 STELLA-II SES high-resolution spectra of the red giant star XX Tri. These cover altogether 86 rotational periods of the star. The Doppler image in the accompanying Figure shows a snapshot in time in three different projection styles; a spherical projection as we would see the star with our eye ("real view"), a Mercator projection where the entire surface can be seen at once ("Mercator map"), and a "pole-on view" as if we were looking down onto the star's one visible rotation pole. Note the size of the Sun in the real-view panel, it is to scale.

The movie reveals a star-spot distribution with ever changing morphology, such as spot fragmentation and spot merging, and with apparently a large range of variability timescales. The decay rate of (magnetic) star spots is of great interest as it is directly related to the magnetic diffusivity in the convective layer of the star, which itself is a key quantity for the length of a

magnetic-activity cycle. The STELLA data allowed the most direct determination of the magnetic diffusivity of any star other than the Sun so far and predicted an activity cycle of  $26 \pm 6$  years. This value agrees very well with results from long-term photometric monitoring. The movie can be downloaded from the stellar-activity home page at AIP.

Link to XX Tri movie <http://www.aip.de/en/research/research-area-cmf/cosmic-magnetic-fields/stellar/stellar-activity/>

## EL ESTUDIO DE CÚMULOS ABIERTOS

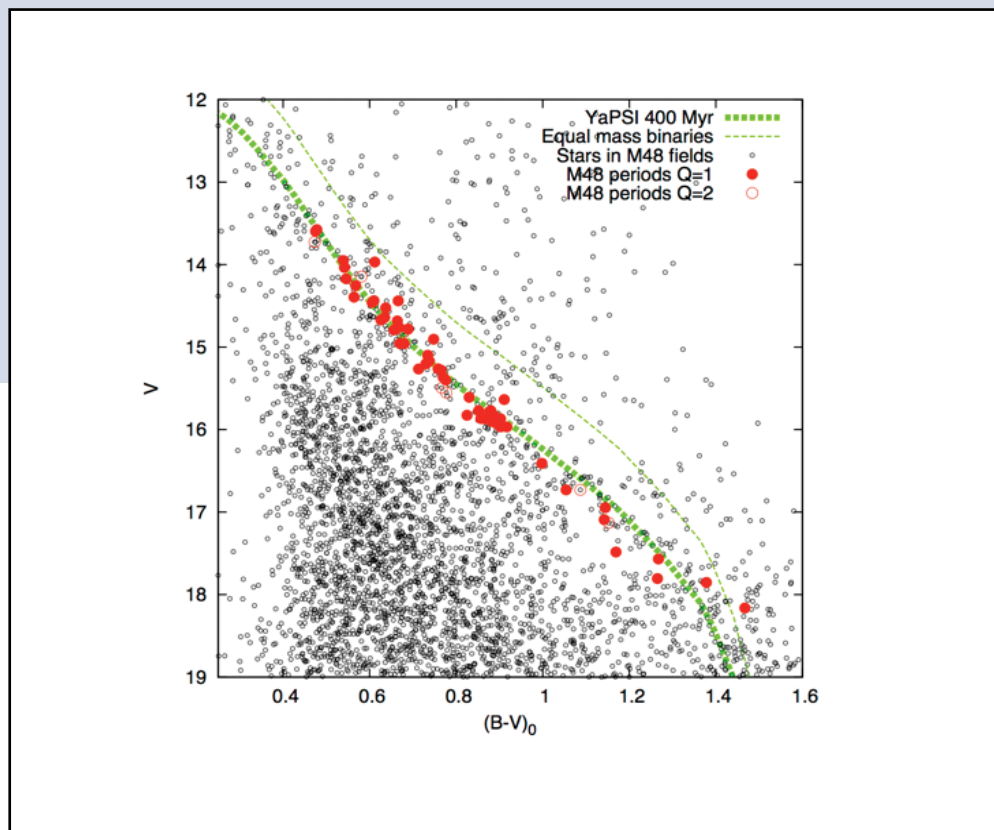
### STELLA

#### STELLA-I - WiFSIP

El Estudio de Cúmulos Abiertos STELLA (SOCS) observó a M48 durante una campaña de observación continua de dos meses con el telescopio robótico de 1,2 m STELLA-I, equipado con la cámara CCD WiFSIP 4kx4k. Se produjeron curvas de luz con 3 mmag (0,3 %) de precisión para estrellas de  $V \sim 14$  mag y luego se analizaron para inferir periodos de rotación estelar precisos. El mantener tal grado de precisión durante dos meses es un testimonio del excelente rendimiento del telescopio.

Se siguieron 62 estrellas periódicas y también se localizó con precisión la secuencia principal del cúmulo en el diagrama de magnitudes de color adjunto. Las mediciones de los periodos de rotación permitieron elaborar un diagrama de periodos de color, lo que permite usar un método alternativo y novedoso (llamado girocronología) para calcular las edades de las estrellas del cúmulo. Con este método se dedujo que la edad del cúmulo era de  $450 \pm 50$  millones de años.

**Diagrama de magnitud de color de STELLA/WiFSIP para el cúmulo abierto M48, con las 62 variables rotacionales periódicas del cúmulo marcadas. Éstas definen la secuencia principal del cúmulo con respecto a las estrellas de fondo.**



## THE STELLA OPEN CLUSTER SURVEY

### STELLA-I - WiFSIP

The STELLA Open Cluster Survey (SOCS) observed M48 during a continuous two month-long observing campaign with the STELLA-I 1.2m robotic telescope, equipped with the WiFSIP 4kx4k CCD imager. Light curves with 3 mmag (0.3%) precision for  $V \sim 14$  mag stars were produced and then analyzed to derive precise stellar rotation periods. The maintenance of such precision over two months is a testament to the excellent performance of the telescope.

**STELLA/WiFSIP color-magnitude diagram for the open cluster M48, with the 62 periodic cluster rotational variables highlighted. These define the cluster's main sequence against the background field stars.**

Sixty-two periodic stars were traced and the cluster's main sequence in the accompanying color-magnitude diagram was also precisely located. The rotation period measurements allowed the construction of a color-period diagram, which permits a newer, alternative method (called gyrochronology) to be used to derive the ages of the cluster stars. This method yields a cluster age of  $450 \pm 50$  Myr.

Esta página doble es una celebración del Año Internacional de la Luz (IYL2015), que fue proclamado el 20 de diciembre 2013 por las Naciones Unidas como el “Año Internacional de la Luz y de las Tecnologías basadas en la Luz”. La imagen principal es una fotografía realizada el 30 de marzo de 2015 por la astronauta italiana Samantha Cristoforetti desde la Estación Espacial Internacional para saludar al Telescopio Nacional Galileo con las palabras, “Hola Islas Canarias y el Telescopio Galileo. Galileo observa el espacio y por fin el Espacio observa al *Galileo*”.

Se puede percibir claramente un nivel muy inferior de contaminación lumínica en la Isla de La Palma en comparación con su entorno, gracias a la labor incansable del IAC en colaboración con los operadores de los telescopios del ORM y las autoridades de la Isla.

Esquina inferior izquierda: Esta escultura fue realizada como parte de las celebraciones IYL2015 en una colaboración entre la Fundación Galileo Galilei y la Escuela de Arte Manolo Blahnik de Santa Cruz de la Palma.





On 20 December 2013 the United Nations declared 2015 as the “International Year of Light and Light-based Technologies” and this centrefold celebrates IYL2015 with the photograph taken by the Italian astronaut Samantha Cristoforetti on 30 March 2015 from the International Space Station to greet the TNG on La Palma, “Hello Canary Islands and Telescopio Nazionale Galileo! Galileo observes space and finally space observes Galileo!”

The much lower level of light pollution on La Palma in comparison with the Canary Islands to its east is a testament to the tireless efforts of the IAC’s staff working in this field in collaboration with the ORM telescope operators and the Island’s local authorities.

The image in the lower left hand corner is the result of a collaboration as part of the IYL2015 celebrations between the Fundación Galileo Galilei and the Escuela de Arte Manolo Blahnik de Santa Cruz de la Palma, representing an artist’s view of a galaxy.

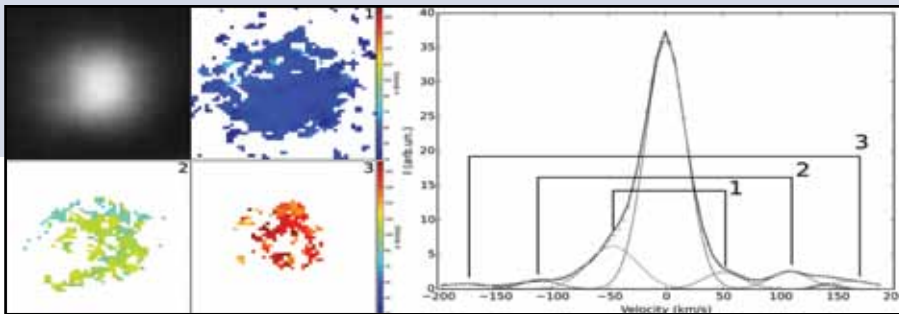


## TRIPLE SUPERNOVA

### WHT - GHaFaS

Las explosiones de supernova son un proceso fundamental en la evolución de las galaxias, inyectando grandes cantidades de energía en el gas circundante, así como dispersando los elementos pesados de los que están compuestos los planetas. Las actuales simulaciones de evolución de galaxias muestran que se requieren modelos detallados multi-escalares de supernovas y vientos estelares para reproducir fielmente las observaciones. La búsqueda de burbujas en expansión se realiza mediante el programa BUBBLY, que analiza los perfiles de emisión observados en busca de pares de componentes que revelen la presencia de estas cáscaras.

*A la derecha un perfil de H $\alpha$  donde se aprecian los tres pares de componentes indicativos de expansión. A la izquierda, una comparativa de la emisión en H $\alpha$  de la región (arriba izquierda) y una representación espacial de las detecciones de las burbujas, con los colores representando la velocidad de expansión detectada en cada punto.*



*On the right is an H $\alpha$  emission profile showing the three pairs of components indicating expansion. On the left, a comparison with H $\alpha$  emission elsewhere in the region (top left) and a spatial representation of bubble detection, with the colours representing the speed of expansion detected at each point.*

## TRIPLE SUPERNOVA

### WHT - GHaFaS

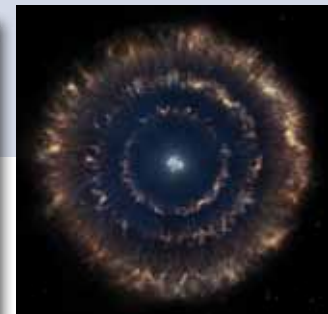
Supernova explosions are fundamental for the evolution of galaxies, injecting large amounts of energy into the surrounding gas and dispersing the heavy elements that make up planets. Current simulations of galaxy evolution show that detailed multi-scale models of supernovae and stellar winds are needed to reproduce observations accurately. The BUBBLY programme has been set up to search for expanding bubbles. It analyses emission profiles that are observed during the search for pairs of components which reveal the presence of these shells.

In one of the regions on M33's arms a surprising discovery was made, when not one but three pairs

of components indicative of the presence of bubbles were found. When these components were spatially mapped it was found that they were centred on the HII region and that their size was relative to their speed, so that the fastest bubble was also the smallest. This tells us that three supernova explosions occurred almost simultaneously in this stellar cloud, producing a structure of three concentric circles, something never before observed.

The GHaFaS instrument on this telescope is ideal for the modelling of these processes to produce a detailed cinematic map of the arms of the nearby galaxy M33. It is a Fabry-Perot type interferometer capable of mapping H $\alpha$  emissions at high spatial resolution limited by "seeing" and velocity ( $\sim 6$ km/s) and has a wide field of view (3.4 armin).

*Representación artística de las tres cáscaras detectadas alrededor de un cúmulo estelar joven.*



*Artist's impression of the three circles detected around a young stellar cloud.*

of components indicative of the presence of bubbles were found. When these components were spatially mapped it was found that they were centred on the HII region and that their size was relative to their speed, so that the fastest bubble was also the smallest. This tells us that three supernova explosions occurred almost simultaneously in this stellar cloud, producing a structure of three concentric circles, something never before observed.

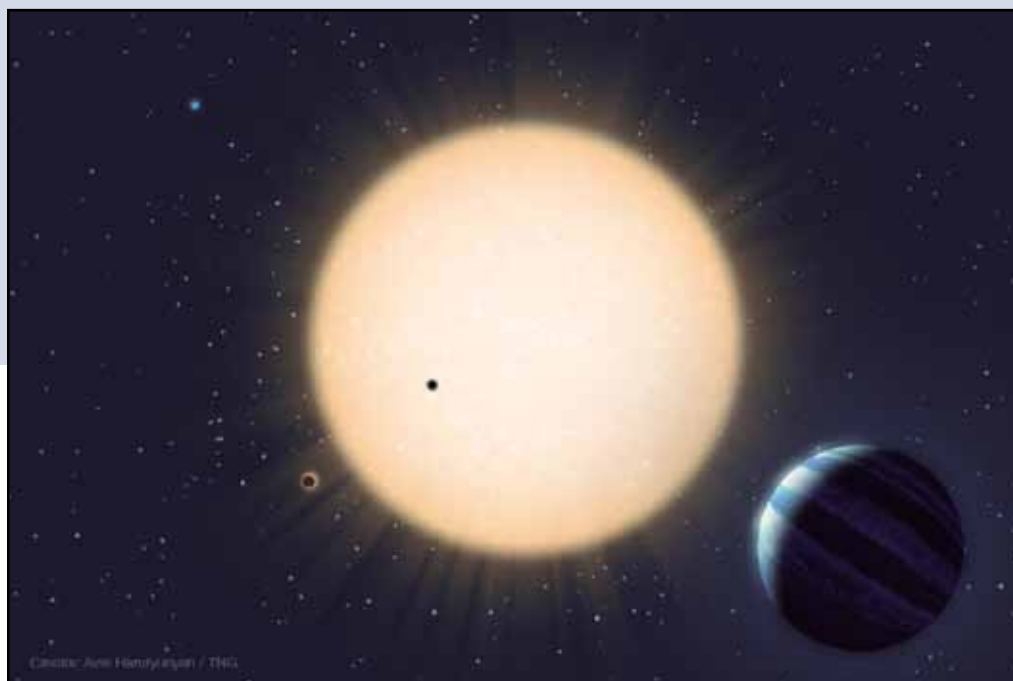
The GHaFaS instrument on this telescope is ideal for the modelling of these processes to produce a detailed cinematic map of the arms of the nearby galaxy M33. It is a Fabry-Perot type interferometer capable of mapping H $\alpha$  emissions at high spatial resolution limited by "seeing" and velocity ( $\sim 6$ km/s) and has a wide field of view (3.4 armin).

## **HD219134: UN PLANETA ROCOSO A SÓLO 20 AÑOS LUZ DE DISTANCIA**

**TNG - Harps-N**

La constelación de Casiopea se ve claramente en el cielo del Hemisferio Norte durante casi todo el año. Se reconoce por su disposición en forma de W de cinco estrellas brillantes, pero otra estrella llamada HD219134 (una enana tipo K), que puede verse a simple vista, y se encuentra a tan sólo 21 años luz, ha revelado su secreto: un planeta con una órbita de 3 días que transita frente a ella. Las observaciones realizadas con el HARPS-N (Buscador de Planetas por Velocidad Radial de Alta Precisión) del nuevo planeta, bautizado como HD219134b, revelan que es el planeta en tránsito más cercano a la Tierra.

HARPS-N es capaz de medir la velocidad radial de la estrella anfitriona en un sistema exoplanetario y de registrar las diminutas oscilaciones que el planeta en órbita superpone debido a la interacción gravitatoria mutua. Eso permite medir la masa del planeta, que en este caso es de 4,5 veces la de la Tierra (lo que los astrónomos denominan una Supertierra). Observaciones del tránsito del planeta frente a su estrella con el telescopio espacial Spitzer, indican que es sólo 1,6 veces más grande que la Tierra. Por tanto, su densidad de 6 g/cm<sup>3</sup> indica que su composición es rocosa.



*Reproducción artística del sistema planetario HD219134*

*An artist's conception of the HD219134 planetary system.*

## **HD219134: A ROCKY PLANET AT ONLY 20 LIGHT YEARS DISTANCE**

**TNG - Harps-N**

The constellation of Cassiopeia is clearly visible in the sky of the Northern Hemisphere for almost the whole year. It can be recognized by its W shaped pattern of the 5 bright stars, but another star named HD219134 (a K-type dwarf star), which is still visible to the naked eye, and is only 21 light-years away, has revealed its secret: a planet in a 3-day orbit that transits in front of it. Observations with HARPS-N (High Accuracy Radial velocity Planet Searcher) of the new planet, called HD219134b, have revealed that it is the closest transiting planet to the Earth.

HARPSN is able to measure the radial velocity of the host star in an exoplanetary system, and to track down the tiny wobbles the orbiting planet is superimposing due to their mutual gravitational interaction. Thus it is possible to measure the mass of the planet, in this case 4.5 times the Earth (referred to by astronomers as a Superearth). Observations of the transit of the planet in front of its star with the Spitzer space telescope, indicate that it is just 1.6 time bigger than Earth. Therefore its density of 6 g/cm<sup>3</sup> means that it has a rocky composition.

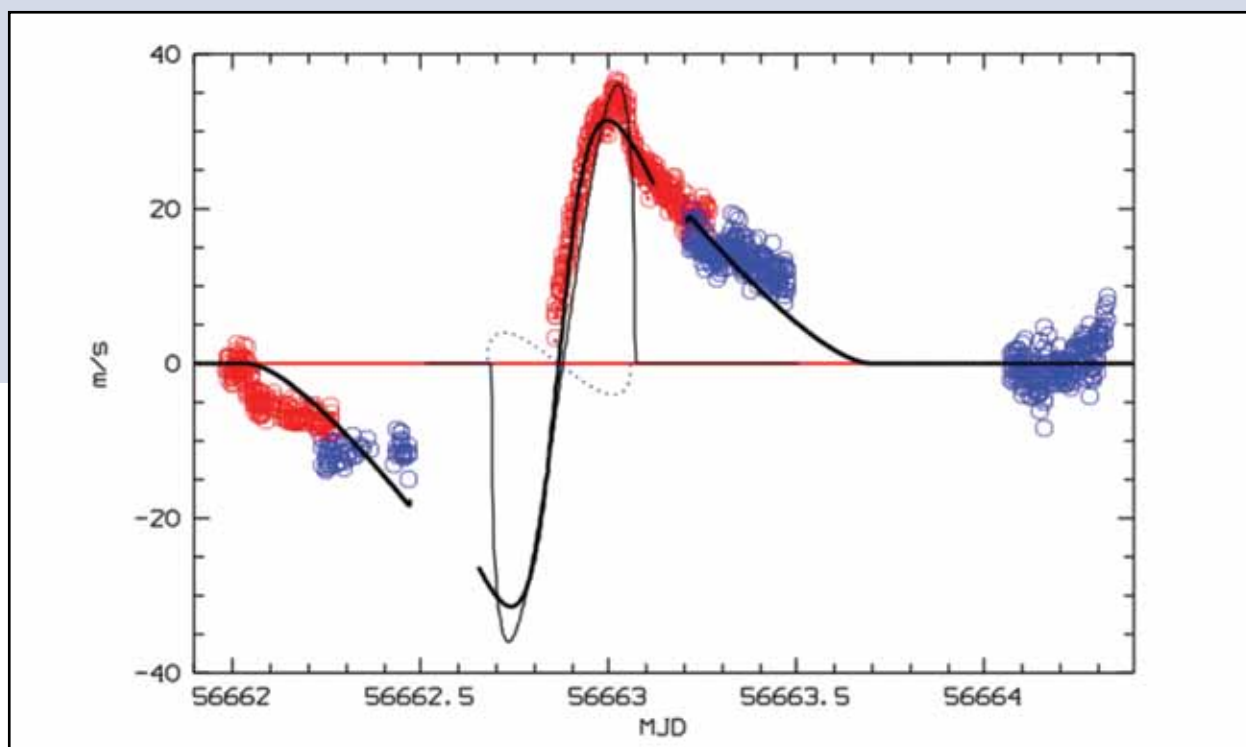
## EL TRÁNSITO DE LA TIERRA DE 2014 VISTO DESDE JÚPITER

### TNG - HARPS-N

El 5 de enero de 2014 el instrumento HARPS-N se usó para un objetivo de lo más inusual: la observación de un tránsito de la Tierra frente al disco solar visto desde Júpiter. Al hacerlo, se detectó un efecto inesperado. Los tránsitos planetarios son eventos muy infrecuentes en nuestro Sistema Solar, pero los tránsitos de exoplanetas frente a sus estrellas anfitrionas suelen ser seguidos por los telescopios de la Tierra. Cuando se produce un tránsito, la ocultación de una pequeña área de la estrella rotatoria produce una distorsión en los perfiles de líneas espectrales de la estrella, que pueden medirse como una desviación en su velocidad radial. Este fenómeno se denomina efecto Rossiter-McLaughlin (RML).

Los tránsitos de Mercurio y Venus pueden seguirse directamente desde la Tierra, pero si queremos seguir los tránsitos de ésta, entonces es necesario tomar los espectros de la luz solar reflejada por otros cuerpos, como Júpiter en este caso, o mejor todavía, alguna de sus lunas. La sorpresa se produjo al observar las lunas Ganímedes y Europa. De hecho, los espectros tomados durante el tránsito con HARPS-N (y a la vez con HARPS en el observatorio de ESO en La Silla, Chile) mostraron un extraño efecto RM «inverso» (se observó desplazamiento al rojo cuando se esperaba desplazamiento al azul y viceversa) que, además, ¡era 400 veces mayor de lo esperado! Después de descartar que la anomalía se debiera

*Gráfico de la velocidad radial durante el “efecto de oposición”. Rojo representa el resultado observado por TNG+ HARPS-N y el azul el 3.6m+HARPS.*



## THE 2014 EARTH TRANSIT AS SEEN FROM JUPITER

### TNG - HARPS-N

On 5 January 2014 the instrument HARPS-N was used for a very uncommon goal: the observation of an Earth transit in front of the Sun's disk as seen from Jupiter and it detected an unexpected effect. Planetary transits are quite rare events in our Solar System, but transits of exoplanets across their host stars are frequently followed by telescopes on the Earth. When a transit takes place, the occultation of a small area of the rotating star produces a distortion of the star's spectral line profiles, which can be measured as a drift in its radial velocity. This phenomenon takes the name of Rossiter-McLaughlin (RML) effect.

*This is the radial velocity plot during the “opposition surge”. Red is from TNG+HARPS-N, and in blue from 3.6m+HARPS.*

Transits of the Mercury and Venus can be directly followed from Earth but if we want to observe a transit of the Earth itself then it is necessary to take spectra of the solar light reflected by other bodies, Jupiter in this case, or better still, some of its moons. The surprise came when the moons Ganymede and Europa were observed. In fact, the spectra taken during the transit with HARPS-N (and, simultaneously by HARPS at the ESO Observatory in La Silla, Chile) showed a strange “inverse” RM effect (with line redshift observed when blueshift was expected and viceversa) and about 400 times greater than expected!

a algún instrumento, quedó claro que se trataba de un nuevo efecto físico, nunca antes medido. En concreto, los astrónomos pudieron atribuirlo al «efecto de oposición» en las lunas de Júpiter. El efecto de oposición es un fenómeno que consiste en el aumento de brillo de una superficie rocosa celeste cuando se observa en oposición, perfectamente alineado con el Sol y la Tierra. En el caso del tránsito terrestre, a medida que se mueve a lo largo del disco solar (visto desde las lunas de Júpiter), el efecto de oposición produce un aumento efectivo en la radiación procedente de las áreas del disco solar que se encuentran justo detrás de la Tierra, visto desde Júpiter. Por tanto, en vez de recibir menos radiación del hemisferio solar cuando cruza la Tierra (como pasa con el efecto RM «normal»), vemos una

mayor radiación. Este efecto no sólo compensa el eclipse solar parcial de la Tierra, sino que también produce una desviación de velocidad radial opuesta y mucho más acusada.

El próximo alineamiento entre el Sol, la Tierra y Júpiter se producirá en 2026 y HARPS-N tendrá una segunda oportunidad de seguir dicho tránsito y comprobar nuevamente el modelo teórico.

***La disposición de nuestro Sistema Solar el 5 de enero de 2014. El tamaño de los cuerpos se ha magnificado: a las 19:00 UT el tamaño de la Tierra visto desde la luna jupiterina Europa era de 4,2" y el diámetro del disco solar era de 369". La duración total del paso fue de 9 h y 40 m.***



After discarding the anomaly as an instrumental artifact, this was clearly due to a new physical effect never measured before. In particular, astronomers could explain it in terms of the “opposition surge” on the Jupiter moons. Opposition surge is a phenomenon that consists in the brightening of a rocky celestial surface when it is observed at opposition, perfectly aligned with the Sun and the Earth. In the case of the Earth’s transit, as it moves through the disk of the Sun (as seen from Jupiter’s moons), the opposition surge produces an effective increase in the radiation coming from areas of the Sun’s disk just behind the Earth as seen from Jupiter. Thus, instead of receiving less radiation from the Solar hemisphere while the Earth is crossing (as happens with the

***The layout of our Solar System on 5 January 2014. The sizes of the bodies are magnified: at 19:00 UT the Earth’s size as seen from Jupiter’s moon Europa was of 4.2” and the diameter of the Solar disc of 369”. The total duration of the passage was 9h 40m.***

“normal” RM effect), we see an increased radiation. This effect not only compensates for the partial solar eclipse by the Earth, but also produces an opposite and much stronger radial velocity drift.

The next alignment between the Sun, Earth, and Jupiter will occur in 2026 and HARPS-N will have a second chance to follow such a transit and test again the theoretical model.

La sala CRONOS del IAC	31	The IAC CRONOS room
La primera luz de una "ESTRELLA GUÍA LÁSER"	32	First light of a "LASER GUIDE STAR"
WHT - CANARY	33	WHT - CANARY
Enlace de comunicaciones ópticas para operaciones robóticas	34	Optical Communication Links for Robotic Operations
STELLA-I/WiFSIP	35	STELLA-I/WiFSIP
STELLA-II/SES	35	STELLA-II/SES
Experimento QUIJOTE	36	The QUIJOTE experiment
ASTROCOMB: un peine láser de frecuencias para HARPS-N TNG	38	ASTROCOMB: a Laser Frequency Comb for HARPS-N TNG
Nuevo telescopio solar del TNG	40	TNG'S new solar telescope
GTC	42	GTC

## EXPERIMENTOS, NUEVOS TELESCOPIOS Y MEJORAS

## EXPERIMENTS, NEW TELESCOPES AND IMPROVEMENTS

## La sala CRONOS del IAC

En la sede central del IAC, en La Laguna, se ha puesto en marcha CRONOS (Control Remoto de los Observatorios astronÓmicOs de canariaS) una nueva sala donde operar remotamente algunos de los telescopios de los Observatorios de Canarias:

1. Telescopio Carlos Sánchez, 1,5m infrarrojo, con tres instrumentos que pueden ser controlados desde CRONOS: CAIN, una cámara de infrarrojo; FastCam y WideFastCam dos cámaras de lectura rápida usadas para aplicar técnicas de *lucky imaging*.

2. Telescopio IAC80, 0,82m visible, con la cámara CAMELOT para imagen.

3. Telescopios del consorcio SARA (Southeastern Association for Research in Astronomy). Recientemente el IAC ha ingresado en dicho consorcio que tiene tres telescopios nocturnos completamente remotizados: SARA-KP de 0.9m en Kitt Peak, EEUU, equipado con una cámara para imagen y un espectrógrafo eschelle; SARA-CT de 0.6m, en Cerro Tololo, Chile, con una cámara para imagen; y JKT de 1.0m, situado en el ORM, también equipado con una cámara para imagen.

4. Telescopio solar GREGOR de 1.5m.



**Aspecto actual de la sala CRONOS**

**The current set up in the CRONOS room.**

## The IAC CRONOS room

A remote control room has been set up at the IAC headquarters. The acronym CRONOS stands for Control Remoto de los Observatorios astronÓmicOs de canariaS (remote control of the Canarian astronomical observatories). Observations can be performed remotely with the following telescopes:

1. Carlos Sánchez Telescope, 1.5m IR. Three of its instruments can be controlled from the CRONOS room: CAIN, an infrared camera; FastCam and WideFastCam are two rapid cameras used in Lucky Imaging techniques.

2. IAC80, 0.82m optical telescope. CAMELOT is used as a camera for capturing images.

3. SARA consortium of telescopes (Southeastern Association for Research in Astronomy). The IAC has recently become a member of this consortium, which manages three completely remote controlled night-time telescopes. The 0.9m SARA-KP at Kitt Peak, USA, which has an imaging camera and an echelle spectrograph; the 0.6m SARA-CT, at Cerro Tololo, Chile, which has an imaging camera; and JKT, 1.0m at the ORM, which also has an imaging camera.

4. GREGOR, this is a 1.5m solar telescope.

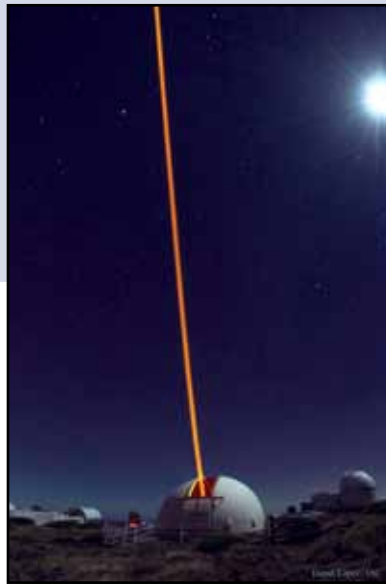
## La primera luz de una “ESTRELLA GUÍA LÁSER”

Se ha realizado con éxito la instalación, puesta en marcha y primera luz del nuevo sistema de Estrella Guía Láser “ESO Wendelstein “ en el Observatorio del Teide. Estos sistemas forman parte de la tecnología conocida como “Óptica Adaptativa”, una técnica que compensa la turbulencia atmosférica que afecta a las observaciones terrestres y hace que las observaciones de objetos celestes aparezcan borrosos. La Óptica Adaptativa utiliza espejos deformables controlados por ordenador que son ajustados cientos de veces por segundo para corregir la distorsión producida por la atmósfera en tiempo real.

Los astrónomos usan estrellas brillantes cercanas al objeto que se quiere estudiar para medir el efecto de la turbulencia y controlar a los espejos deformables. Sin embargo el número de este tipo de estrellas que se ajustan a los requerimientos de la Óptica Adaptativa es muy bajo y por eso se recurre a referencias artificiales, las llamadas “Estrellas Guía Láser”. Estas se originan lanzando un potente rayo láser al cielo. El rayo crea un punto brillante debido a que excita átomos de sodio presentes en la mesosfera, una capa de la atmósfera a unos 90

km de altura. La luz que vuelve de estas referencias artificiales puede ser utilizada por la Óptica Adaptativa para medir el efecto de la turbulencia atmosférica, corregirlo y lograr imágenes astronómicas casi tan nítidas como si el telescopio estuviera en el espacio.

Se están llevando a cabo estudios de investigación y desarrollo tecnológico para optimizar la intensidad de la estrella guía láser generada en la mesosfera, prestando especial atención a la influencia que tiene el campo geomagnético en la estimulación de las emisiones de los átomos de sodio allí presentes. El experimento utiliza tecnologías desarrolladas por ESO para producir un láser de fibra de onda continua de 20 vatios con capacidad de variar parámetros tales como la frecuencia, las líneas espectrales, la anchura de línea, la polarización y la intensidad. Estos experimentos son también un paso hacia el desarrollo del sistema de estrella guía láser para el GTC.



*Puesta en marcha de la Unidad de Estrella Guía Láser ESO Wendelstein en el Observatorio del Teide.*

*The first light of the ESO Wendelstein Laser Guide Star unit at the Teide Observatory.*

## First light of a “LASER GUIDE STAR”

The new “ESO Wendelstein” Laser Guide Star Unit has been installed and successfully put into operation at the Teide Observatory. Laser Guide Star Systems are part of the technology used in the field of Adaptive Optics (AO); a method that is used to compensate for the atmospheric turbulence that makes celestial objects appear blurred when they are observed using Earth based telescopes. This technique uses computer controlled deformable mirrors that are adjusted hundreds of times per second to correct in real time the distortion produced by the atmosphere.

Astronomers use bright stars close to the object under study to measure the effect of the turbulence, and use the measured signal to control the deformable mirrors. However the number of stars of this type bright enough for the needs of AO is very low and this is compensated for by using artificial references, so-called “laser guide stars”. These are formed by aiming a powerful laser beam at the sky. The beam gives rise to a bright point, because it excites the sodium atoms in the mesosphere, a layer of the atmosphere some 90 km above the ground. The light which is reflected from these artificial references can be used by AO to measure the effect

of atmospheric turbulence and correct it, yielding astronomical images virtually as sharp as if the telescope were in space.

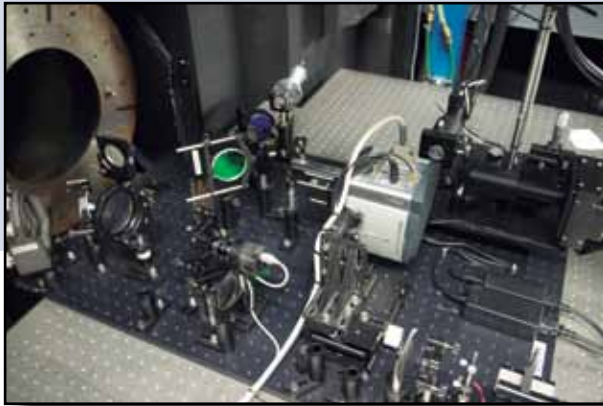
The research and technological development that is being carried out is aimed at optimizing the intensity of the laser guide star generated in the mesosphere, paying special attention to the influence of the Earth’s magnetic field in stimulating the emission of the sodium atoms. The experiment uses technologies developed by ESO to produce a fibre based laser emitting continuously with a power level of 20 watt and with the ability to vary parameters such as the frequency, the spectral line emitted, the line width, the polarization, and the brightness. This work is part of a wider programme of research and technological development in adaptive optics and laser guide stars that will contribute towards the laser guide star system for the GTC.



## WHT - CANARY

El proyecto CANARY avanzó significativamente a lo largo de 2015 usando el WHT. Su objetivo es demostrar las tecnologías de ópticas adaptativas necesarias para el E-ELT. Durante octubre de 2015, CANARY entró en funcionamiento con éxito con la adición de un segundo espejo deformable, que permite emular con exactitud el modo óptica adaptativa multiobjeto (MOAO) del E-ELT. En este modo, la corrección adaptativa se logra mediante una combinación de la adaptativa M4 del E-ELT junto con espejos deformables de bucle abierto multicanal. El orden máximo de captación de frente de onda del CANARY se amplió de 7x7 a 14x14 subaperturas, lo que a su vez aumenta el orden de corrección.

*Fig. 1: CANARY montado en el WHT.*



*Fig. 1: The CANARY instrument at the WHT.*

## WHT - CANARY

The CANARY project made very significant progress in 2015 using the WHT. The project's objective is to demonstrate adaptive optics technologies that are needed for the E-ELT. During the October 2015 run CANARY was successfully commissioned with an added, second deformable mirror, which enables an accurate emulation of the E-ELT multi-object AO (MOAO) mode. In this mode, the adaptive correction is achieved by a combination of the adaptive M4 of the E-ELT together with multi-channel open-loop deformable mirrors. The maximum order of CANARY wavefront sensing was increased from 7x7 to 14x14 subapertures, which correspondingly increases the order of correction.

La noche final del ciclo de octubre fue magnífica, con buena visibilidad y las distribuciones de turbulencia vertical muy similares a las de Paranal y Armazones. Se obtuvieron ratios Strehl del 50 % para la banda H para óptica adaptativa conjugada sencilla (SCAO) y del 35 % para óptica adaptativa láser tomográfica (LTAO) y MOAO. La diferencia es achacable a una capa de turbulencias situada a unos 18 km, por encima de las cuatro estrellas de guía láser Rayleigh del CANARY. CANARY puede cambiar ahora a voluntad entre SCAO, LTAO, MOAO y óptica adaptativa de capa terrestre (GLAO), y ha obtenido las primeras demostraciones mundiales de MOAO (necesarias para el instrumento ELT-MOS: MOSAIC) y LTAO (necesarias para el instrumento ELT-IFU: HARMONI). CANARY también ha llevado a cabo la primera demostración mundial de la configuración de control del espejo gemelo deformable de bucle abierto y cerrado de las MOAO del E-ELT.

*Fig. 2: Disparo del láser.*



*Fig. 2: The laser in operation.*

The final night of the October run was outstanding, with good seeing, and vertical turbulence distributions closely resembling Paranal and Armazones. H-band Strehl ratios of 50% were achieved for Single Conjugate AO (SCAO) and 35% for Laser Tomographic AO (LTAO) and MOAO. The difference is readily accounted for by a turbulent layer at around 18km, which is above CANARY's 4 Rayleigh Laser Guide Stars. CANARY can now switch on command between SCAO, LTAO, MOAO and Ground Layer AO (GLAO), and it has achieved the world's first demonstrations of MOAO (required for the ELT-MOS: MOSAIC instrument) and LTAO (required for the ELT-IFU: HARMONI instrument). CANARY has also made the world's first demonstration of the open and closed loop twin deformable mirror control configuration of E-ELT MOAO.

## Enlace de comunicaciones ópticas para operaciones robóticas

El proyecto HiCLASS-ROS (Sistemas de comunicación láser altamente compactos para apoyo a operaciones robóticas), financiado por la ESA, pretende demostrar el uso de sistemas de comunicaciones láser altamente compactos para operaciones robóticas en el espacio. Para ello, se han considerado como escenarios potenciales las de operaciones entre orbitadores y módulos de aterrizaje, así como desde la Tierra a la Estación Espacial Internacional (ISS). Debido a las características de las operaciones de telepresencia robótica, un enlace de comunicaciones ópticas debe ser capaz de soportar altas velocidades de transferencia de datos (100 Mbit/s), tanto de subida como de bajada, junto con una tasa de error de paquetes (PER) baja del orden de  $1E-06$  y un tiempo de envío y retorno (RTT) inferior a 3 ms.

Se ha seleccionado el escenario de telepresencia entre la ISS en la órbita terrestre baja (LEO) y un operador terrestre para proseguir la investigación. Con ese fin se ha establecido una campaña con pruebas de características similares mediante el uso de un enlace interinsular de 144 km entre los observatorios en las islas de Tenerife y La Palma. Para la demostración del enlace, se instaló el Terminal de microláser aéreo (MLT-20) de ViaLight Communications (VLC) en la estación óptica

## Optical Communication Links for Robotic Operations

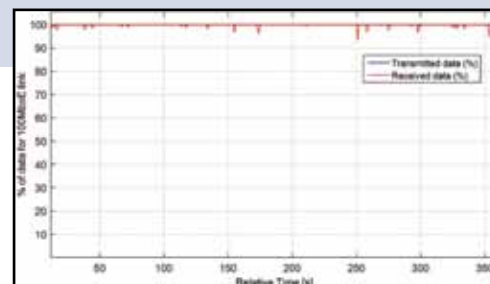
The ESA-funded project HiCLASS-ROS (Highly Compact Laser Communication Systems for Robotic Operations Support) aims to demonstrate the usage of highly compact laser communication systems for robotic operations in a space environment. As potential scenarios, operations between orbiter and lander as well as Earth-ground to the International Space Station (ISS) have been considered. Due to the characteristics of robotic telepresence operations, the optical communication link must be able to handle high data rates of 100 Mbit/s in both uplink and downlink together with a low Packet Error Rate (PER) of  $1E-06$  and a Round Trip Time (RTT) below 3ms.

The telepresence scenario between the ISS in the Low Earth Orbit (LEO) and an operator on Earth-ground has been chosen for further research. Therefore, a demonstration campaign with comparable characteristics has been established with a 144 km inter-island link between the Observatories on the islands of Tenerife and La Palma. For a demonstration of the space terminal, the airborne Micro Laser Terminal (MLT-20) of ViaLight Communications (VLC) has been installed in the ESA Optical Ground Station on Teide Observatory together with the Transportable Optical Ground Station (TOGS) of the German Aerospace

terrestre (OGS) de la ESA en el Observatorio del Teide actuando como terminal espacial. Mientras tanto, la Estación Terrestre Óptica Portátil (TOGS) del Centro Aeroespacial Alemán (DLR), que actuaba como estación de tierra, fue colocada frente al Telescopio Óptico Nórdico (NOT) del ORM. Para mitigar los efectos de las condiciones atmosféricas, se usa el Transceptor Ethernet Láser (LET) del DLR en ambos extremos con un código optimizado a las condiciones del canal en cuanto a desvanecimientos y RTT limitado.

La caracterización del canal óptico de comunicaciones demostró que el enlace interinsular puede considerarse equivalente al peor de los escenarios en la operación robótica en la órbita de la ISS. Con una velocidad de transferencia de datos bidireccional de 100 Mbit/s, un PER bajo con codificación de canal permitió un rendimiento muy alto y estable (véase Figura) y un RTT máximo de 1,62 ms. Se cumplieron los requisitos de uso definidos para contemplar varios aspectos operativos, desde una autonomía completamente teleoperada y compartida a un control robótico totalmente autónomo. El proyecto HiCLASS-ROS del ESA ha demostrado que la tecnología de conexión láser usada es muy adecuada para futuros escenarios robóticos.

**Datos transmitidos y recibidos a través del enlace óptico de comunicación a 100 Mbit/s a lo largo de 6 minutos.**



**Transmitted and received data over the optical communication link at 100 Mbit/s over a period of 6 minutes.**

Center (DLR) acting as a ground station, placed in front of the Nordic Optical Telescope (NOT) on the ORM. So as to meet the atmospheric conditions, DLR's Laser Ethernet Transceiver (LET) is used on both ends for an optimization of the applied channel coding to the fading as well as to the limited RTT.

The characterization of the optical communication channel proved that the inter-island link can be considered as a worst case scenario for a robotic operation in the LEO orbit. At a bidirectional data rate of 100 Mbit/s, a low PER with channel coding enabled a very high and stable throughput (compare Figure) with a maximum RTT of 1.62 ms. The defined user requirements have been fulfilled to support various operational aspects, from full tele operated and shared autonomy to full autonomy robot control. The ESA HiCLASS-ROS project has demonstrated that the laser link technology used in this setup is very well suited for future robotic scenarios.

## STELLA-I/WiFSIP

La implementación de una guía fuera de eje ha permitido un notable incremento en el rendimiento a largo plazo del guiado de STELLA-I. La técnica de guiado original, usando un telescopio refractor superpuesto demostró ser inexacta en las exposiciones a largo plazo. Por tanto, se colocó una videocámara comercial con unas dimensiones de tan sólo 30x30 mm en el soporte del mecanismo de obturación del WiFSIP. El campo de visión de la cámara es de 4x2 minutos de arco. Usando diferentes preajustes en el derrotador de imagen del telescopio, el campo accesible de la cámara se aumenta a 0,15 grados cuadrados, un área suficiente para encontrar estrellas guía adecuadas.

*En esta imagen se demuestra las nuevas capacidades de guiado (NGC 6888, La Nebulosa Creciente – ver portada).*



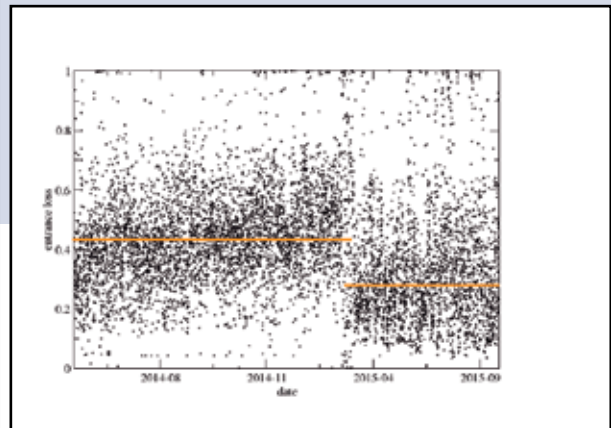
*A demonstration image of the new guiding capability (NGC 6888, the Crescent Nebula – see the front cover).*

## STELLA-I/WiFSIP

The implementation of an off-axis guider allowed a significant increase of the long-term guiding performance of STELLA-I. The original guiding technique utilizing a piggy-back refracting telescope proved to be inaccurate for long-term exposures. Thus, an off-the-shelf video camera with dimensions of just 30x30mm was placed in the mounting frame of the WiFSIP shutter mechanism. The field-of view of the camera is 4x2 arc minutes. By using different presets of the telescope's image derotator, the accessible field for the camera is increased to 0.15 square degrees, an area sufficient to find suitable guide stars.

Ha sido posible incrementar considerablemente la eficiencia de guiado de STELLA-II gracias a un nuevo algoritmo que utiliza el alto contraste entre el borde del colimador y la luz residual de la estrella guía. Ahora el guiado precisa sólo una señal muy pequeña, basta con una ratio S/R de solo  $\sim 0,1$  por píxel (es decir, una señal que es 10 veces más débil que el ruido de fondo). Al requerir una señal menor, se reducen también los tiempos de exposición en la cámara guía, lo que, a su vez, permite una mayor cadencia de exposición y, consecuentemente, un guiado mucho más fluido del telescopio. La figura muestra el efecto sobre las pérdidas de luz del SES en su colimador de fibra; el valor medio bajó del 43 % al 27 %.

*Eficiencia del nuevo guiado del STELLA-II/SES. La pérdida de luz de la entrada de fibra se redujo de un 43 % a un 27 %.*



*Efficiency of the new STELLA-II/SES guiding algorithm. The fibre entrance light loss was lowered from 43% to 27%.*

## STELLA-II/SES

A significant increase of the STELLA-II guiding efficiency was possible thanks to a new algorithm that utilizes the high contrast between the edge of the pinhole and the guide star rest light. Only very little signal is now needed for guiding, an S/N ratio of only  $\sim 0.1$  per pixel is sufficient (i.e., a signal that is ten times weaker than the background noise). Lower signal demands lead to shorter exposure times on the guider camera which, in turn, allows for a higher exposure cadence and correspondingly for a much smoother guiding of the telescope. The accompanying figure shows the effect on the SES light-losses at its fibre pinhole; the median value decreased from 43% to 27%.

## Experimento QUIJOTE

El objetivo principal del proyecto QUIJOTE es caracterizar en el rango de microondas (10-40 GHz) la radiación, en intensidad y en polarización, del Fondo Cósmico de Microondas, y de la emisión contaminante Galáctica, lo que permitirá poner cotas sobre los modos B provenientes del periodo inflacionario en el Universo temprano. Los dos telescopios QUIJOTE fueron instalados en el OT en mayo de 2012 y en junio de 2014. El primer instrumento, MFI (10-20 GHz), ha llevado a cabo observaciones desde 2012 mientras que el segundo instrumento, TGI (30 GHz), se encuentra en fase de integración (ver Fig. 1). El tercero, FGI (40 GHz), está en fase de construcción.

Ya se ha publicado el primer artículo presentando resultados científicos de QUIJOTE basado en observaciones realizadas con el MFI en 2012 y 2013. Durante 2015 se tomaron con el MFI 5288 horas de datos. La mayor parte del tiempo, 1956 horas, se invirtió en tres campos cosmológicos de 1,000 grados cuadrados cada uno. Otras 693 horas se invirtieron en completar el “wide-survey”, una región que cubre los 20,000 grados cuadrados del hemisferio norte. El resto de las observaciones correspondieron a calibraciones y a observaciones profundas de diversas regiones Galácticas de interés.

**Fig. 1: Segundo instrumento QUIJOTE, TGI (30 GHz), durante las pruebas de operación realizadas en junio de 2015.**



**Fig. 1: QUIJOTE second instrument, TGI (30 GHz), undergoing commissioning tests in June 2015.**

### The QUIJOTE experiment

The main goal of the QUIJOTE experiment is to characterise in the microwave range (10-40 GHz), and in intensity and in polarisation, the Cosmic Microwave Background radiation, and the emission from Galactic contaminants. This would eventually allow to set constraints on the B-mode signal left by the inflationary period of the primordial Universe. The first and second QUIJOTE telescopes were installed at the OT on May 2012 and June 2014, respectively. The first instrument, MFI (10-20 GHz), has been performing observations since November 2012. The second instrument, TGI (30 GHz) –see

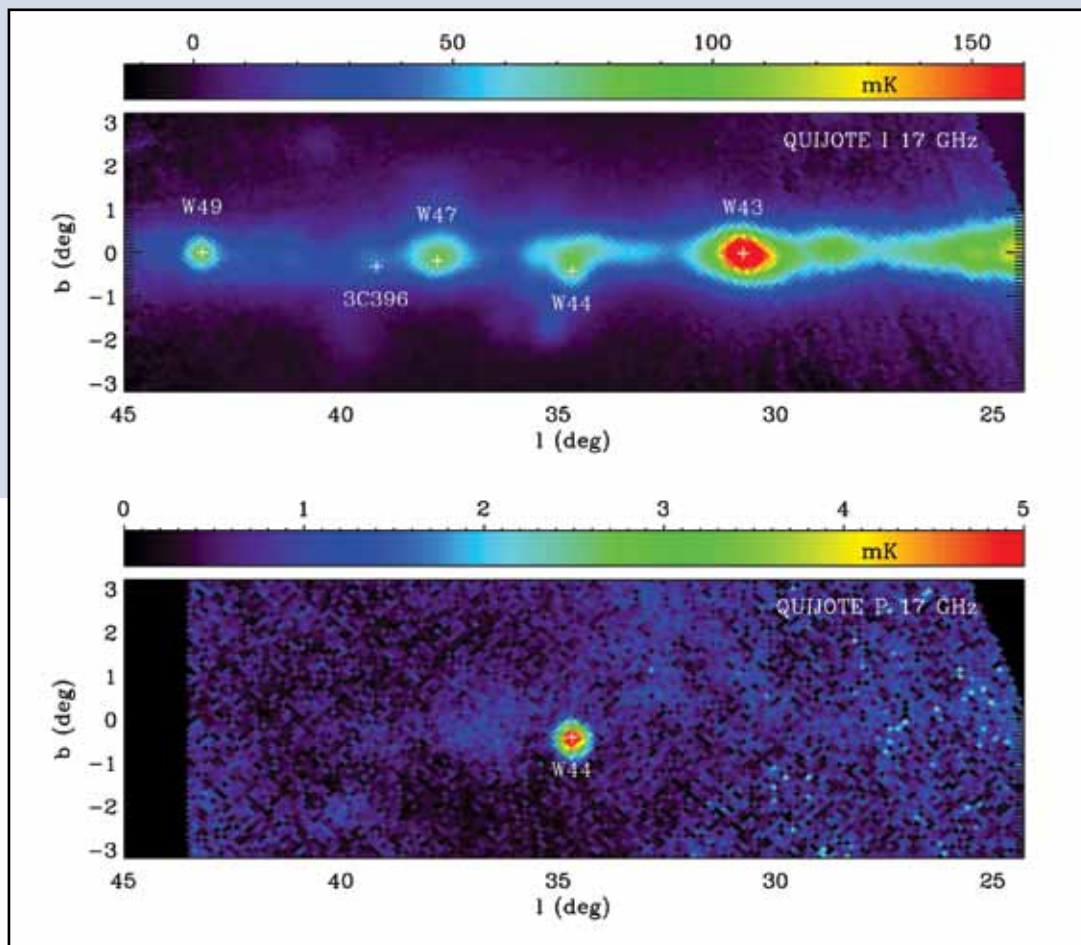
Fig. 1 -, is currently being integrated, whereas the third instrument, FGI (40 GHz) is being built.

The first scientific QUIJOTE paper has been published and was based on observations performed with the MFI in 2012 and 2013. During 2015 the MFI accumulated 5288 hours of data. The majority of these data, 1956 hours, correspond to observations on three cosmological fields, subtending each 1,000 square degrees. Other 693 hours of data were added to the so-called “wide-survey”, a region covering 20,000 square degrees of the full northern

Se ha realizado un rastreo de la región del plano Galáctico entre longitudes 25 y 45 grados, como se muestra en la Figura 2. Estas observaciones han proporcionado una caracterización en intensidad de la emisión anómala de microondas en las regiones HII W43 y W47 y en el SNR W44, y proporcionan los límites superiores más fuertes ( $<0.2\%$ ) sobre la polarización de este fenómeno que se han presentado hasta ahora, superando casi en un factor cinco los mejores límites obtenidos anteriormente.

Estos resultados son esenciales para estimar el nivel de contaminación introducido por esta radiación sobre experimentos, presentes y futuros, de modos B, y también para ayudar a entender mejor el mecanismo físico responsable de esta emisión. En este artículo también discutimos la polarización de la emisión sincrotrón en W44, y caracterizamos la rotación de Faraday en este objeto.

**Fig. 2: Mapas de intensidad (arriba) y polarización (abajo) obtenidos con el instrumento QUIJOTE-MFI a 17 GHz, de la región del plano de la Galaxia entre longitudes 25 y 45 grados. Diversos objetos galácticos, principalmente SNR y regiones HII, se ven claramente.**



**Fig. 2: Intensity (top) and polarisation (bottom) maps obtained with the QUIJOTE-MFI instrument at 17 GHz, on a region of the Galactic plane between longitudes 25 and 45 degrees. Several Galactic objects, mainly SNRs and HII Regions, are clearly visible.**

sky. The rest of the data are associated with calibrations, and with deep observations performed on different Galactic regions.

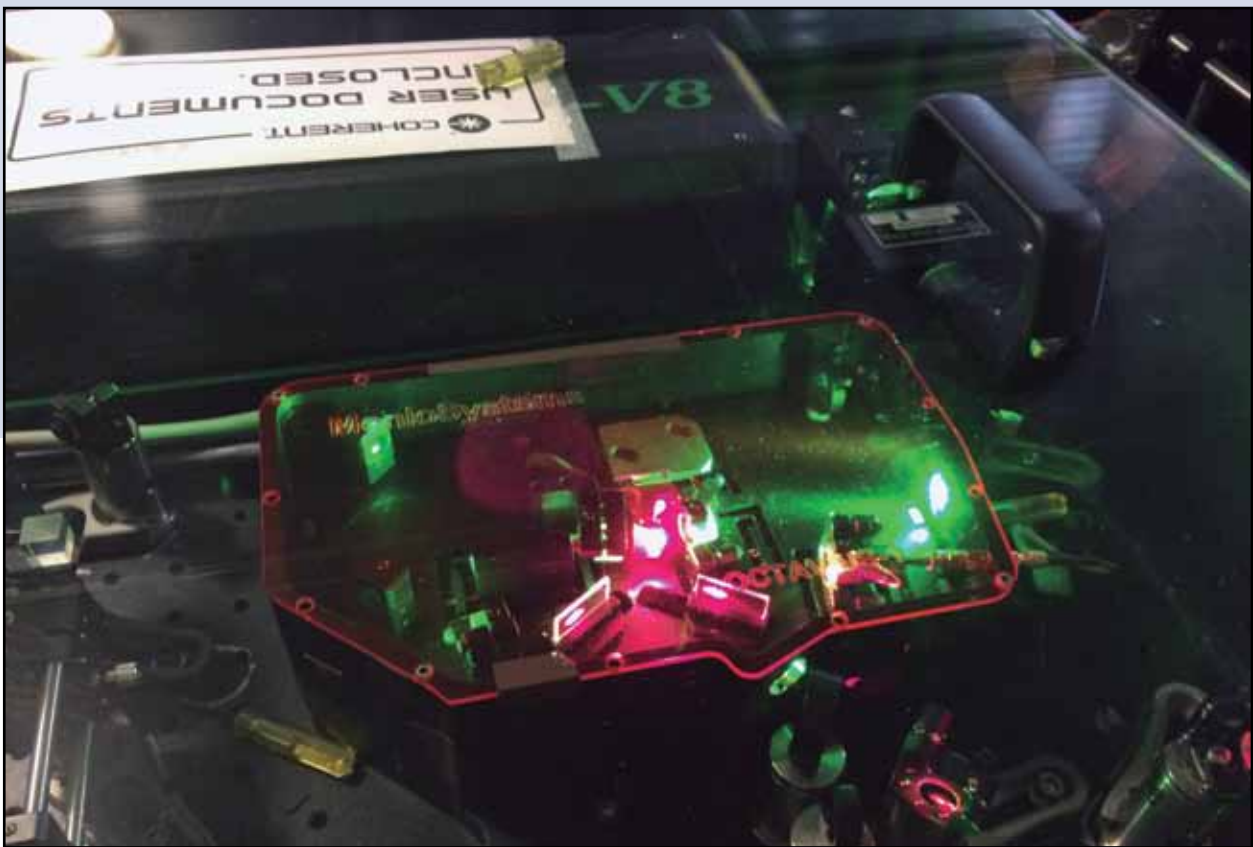
A survey of the region of the Galactic plane between longitudes of 25 and 45 degrees was carried out and Figure 2 shows the resulting QUIJOTE map at 17 GHz. The scientific results have provided a characterisation in intensity of the anomalous microwave emission towards the HII regions W43 and W47 and the SNR W44. They have also provided the most stringent upper limits ( $<0.2\%$ ) obtained to date on the polarisation of the anomalous microwave emission, improving previous constraints by a factor

almost five. These results are key to assess the level of contamination that will be introduced by this radiation on current and future experiments searching for the cosmological B-mode signal. They are equally important to improve our understanding on the physical mechanism producing this emission. In this article we also discussed the polarisation of the synchrotron emission in W44, and characterised the Faraday rotation in this object.

## ASTROCOMB: un peine láser de frecuencias para HARPS-N TNG

El siguiente paso en las mediciones precisas de la velocidad radial (VR) es la detección y caracterización a largo plazo de exo-Tierras: mundos rocosos alrededor de estrellas de tipo solar. La detección de tales señales requiere de una precisión en la VR mejor que 10 cm/s durante períodos de varios años. Para alcanzar tal precisión se necesita un sistema estable, una calibración del espectrógrafo a largo plazo y entender las variaciones de la VR medidas debido a la actividad estelar y otras fuentes intrínsecas a las estrellas, que limitan las fuentes de ruido en las medidas de la VR.

*Fig. 1: El corazón del AstroComb: una fibra de cristal fotónico (FCF) con velocidad de repetición de 1 GHz con un espectro centrado en 800 nm, se estabiliza con un reloj atómico de rubidio y referenciado al Sistema de Posicionamiento Global (GPS) que proporciona las líneas de referencia espaciados por  $\approx 10^{-3}$  nm con frecuencias ópticas dada por  $F = f_{\{o\}} + n f_{\{rep\}}$  donde  $f_{\{rep\}}$  es la tasa de repetición del láser,  $f_{\{o\}}$  es el desplazamiento de frecuencia determinado por la dispersión intra-cavidad y "n" es un número entero de numeración de los dientes del peine. Estas líneas de referencia se desplazan hacia el verde utilizando un FCF y se filtran usando interferómetros Fabry-Perot para conseguir un espaciado apropiado para calibrar el espectrógrafo. (En la imagen no están incluidos el FCF y el interferómetro Fabry-Perot.)*



## ASTROCOMB: a Laser Frequency Comb for HARPS-N TNG

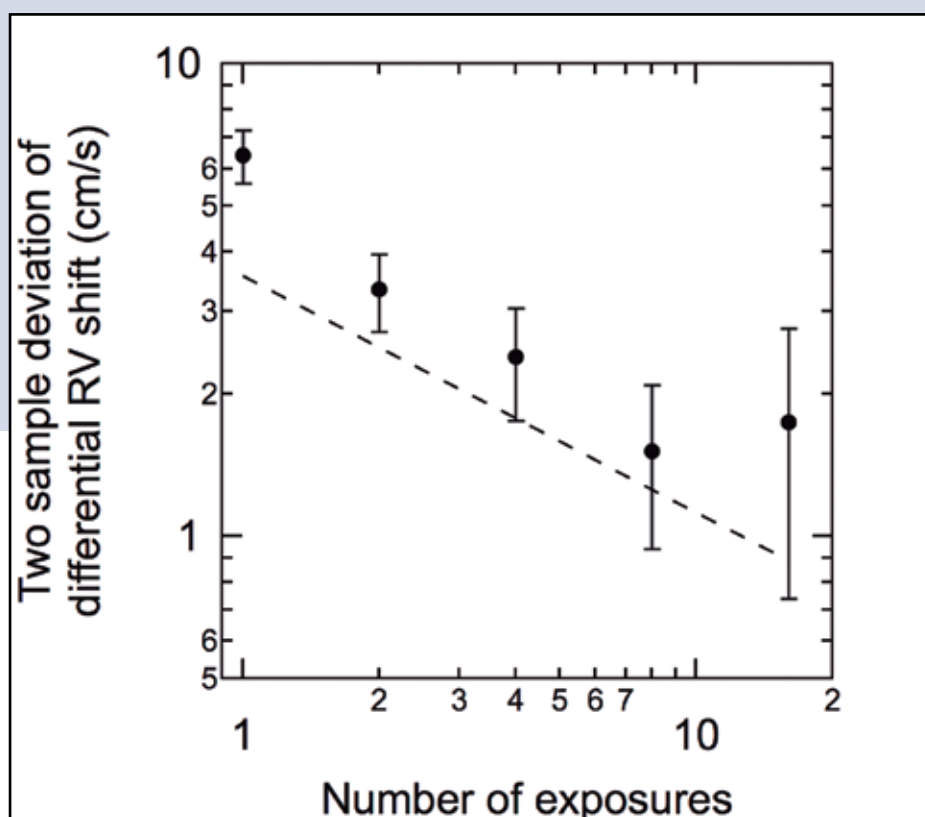
The next step in precise radial velocity (RV) measurements is the detection and characterization of exo-Earths: long-period, rocky worlds around solar-type stars. Detection of such signals requires an order of magnitude improvement in RV precision to  $<10$  cm/s over several year periods. To reach such RV precision requires stable, long-term wavelength calibration of the spectrograph, and understanding the variation in measured RV due to stellar activity and other sources intrinsic to stars, which are limiting sources of noise in RV measurements.

*Fig. 1: The heart of the AstroComb: a 1 GHz repetition-rate LFC with a spectrum centred at 800 nm, is stabilized to a rubidium atomic clock and referenced to the Global Positioning System (GPS) providing reference lines spaced by  $\approx 10^{-3}$  nm with optical frequencies given by  $F = f_{\{o\}} + n f_{\{rep\}}$  where  $f_{\{rep\}}$  is the repetition rate of the laser,  $f_{\{o\}}$  is the offset frequency determined by intra-cavity dispersion, and  $n$  is an integer numbering the comb teeth. These reference lines are shifted into the green using a photonic crystal fibre (PCF) and filtered using Fabry-Perot cavities to a spacing appropriate for calibrating the spectrograph. (PCF and filter cavities not shown.)*

Para alcanzar precisiones en longitud de onda mejores a 10 cm/s, se usa el AstroComb (un peine láser de frecuencias) para calibrar el espectrógrafo HARPS-N de búsqueda de planetas en el TNG. El AstroComb proporciona habitualmente una precisión de calibración del espectrógrafo HARPS-N mejor que 10 cm/s. Esto consiste de un peine láser de frecuencia con elevada capacidad de repe-

tición, una fibra de cristal fotónico (FCF) que desplaza la longitud de onda para convertir la luz del AstroComb a la longitud de onda a calibrar, y un interferómetro Fabry-Perot que permite hacer coincidir la separación entre líneas del peine láser con la resolución del espectrógrafo. El AstroComb está siendo automatizado de forma que pueda ser operado cualquier noche que se desee.

**Fig. 2: Estabilidad de la calibración del espectrógrafo HARPS-N con el AstroComb en comparación con el número de exposiciones, según lo estimado a partir de la desviación de dos muestras del desplazamiento espectral medido entre las dos fibras HARPS-N cuando ambos están iluminados con luz del PLF. La línea es el límite esperado de ruido fotónico por exposición. Después de un promedio de 8 exposiciones, la calibración del espectrógrafo se aproxima a 1 cm/s.**



**Fig. 2: Stability of calibration of HARPS-N spectrograph with the AstroComb versus number of exposures as evaluated from the two-sample deviation of the measured spectral shift between the two HARPS-N fibres when both are illuminated by comb light. Dashed line is the expected photon shot noise limit. After averaging 8 exposures, the calibration of the spectrograph approaches 1 cm/s.**

To achieve sub 10 cm/s wavelength calibrations, the AstroComb, a laser frequency comb, that is used to calibrate the HARPS-N planet-finding spectrograph at the TNG has been in operation. The AstroComb routinely provides <10 cm/s calibration precision of the HARPS-N spectrograph. The wavelength calibrator consists of a high repetition-rate, octave-spanning

femtosecond laser frequency comb, a wavelength-shifting Photonic Crystal Fibre (PCF) to convert laser frequency comb light to the wavelength range to be calibrated, and a filter cavity to match the laser comb line spacing to the resolution of the spectrograph. The AstroComb is being automated so that it will run every desired night.

## Nuevo telescopio solar del TNG

Es posible encontrar un planeta del tamaño de la Tierra en la zona de habitabilidad de su estrella anfitriona. Sin embargo, estimar su masa mediante la técnica de la velocidad radial (VR) es mucho más difícil ya que la señal que emite la estrella es perturbada por varios factores tales como la convección, la granulación, las pulsaciones o regiones activas; la variación de la VR inducida por tales efectos es un orden de magnitud mayor que el efecto de la masa del planeta sobre su estrella. La comprensión de esto requiere del seguimiento continuo y con muy alta cadencia de una estrella con un espectrógrafo de alta precisión (HARPS-N), así como de una referencia estable como la que puede producir el “AstroComb” (véase el artículo “AstroComb: Un peine láser de frecuencias para HARPS-N”). Para lograr esto, se ha desarrollado un nuevo experimento: se utiliza HARPS-N con el Astrocomb para una calibración muy estable y el Sol como la estrella. Esto hace que sea posible explotar el tiempo diurno que de otra forma el telescopio no utilizaría.

Las simulaciones que incluyen el uso de una señal estelar real muestran que la observación del Sol por dos horas al día durante dos años sería suficiente para recuperar significativamente la señal inducida

por Venus sobre el Sol y una detección de este tipo sería la prueba definitiva de que la detección de un gemelo de la Tierra en un futuro próximo sería posible. Sin embargo, esto no es una tarea fácil. En mayo de 2015 se instaló un telescopio solar de bajo coste (LCST) en el exterior de la cúpula del TNG. El LCST consiste en una lente acromática y una esfera de integración colocada sobre una simple montura de seguimiento e instalado dentro de una cúpula acrílica fija. La luz del Sol es recogida por una esfera de integración con el fin de tratarla como una estrella común sin resolver, y desde aquí (a través de una fibra óptica de 35m) se envía la señal a la Unidad de Calibración de HARPS-N.

El telescopio solar y HARPS-N adquieren espectros de todo el disco del Sol que cubre toda la banda de paso de HARPS-N cada 5 minutos durante unas seis horas cada día despejado. Durante un período de dos años, el LCST alimentará con la luz solar a Harps-N y las variaciones VR serán calibradas por el AstroComb. Las velocidades radiales solares observadas con este telescopio solar serán utilizados para caracterizar y comprender los efectos de la fluctuación de fase solar mediante la combinación de mediciones realizadas con las imágenes del telescopio solar / HARPS-N y el Observatorio

## TNG’S new solar telescope

Finding an Earth size planet in the habitable zone of its host star is possible. However, estimating its mass with the radial velocity (RV) technique is much more difficult because the stellar signal is perturbed by several factors such as convection, granulation, pulsations or active regions; the RV variation induced by such effects is one order of magnitude larger than the effect of the mass of the planet over its star. Understanding this needs a very high cadence continuous follow up of a star with a high precision spectrograph (Harps-N), moreover a stable reference (Astro Comb) is mandatory (see accompanying article, “ASTROCOMB: A LASER FREQUENCY COMB FOR HARPS-N”). To achieve this a new experiment has been developed on this telescope that uses HARPS-N, its very stable AstroComb as calibration and the Sun as the star. This makes it possible to exploit the otherwise unused daytime of the observatory.

Simulations including realistic stellar signal show that observing the Sun two hours per day for two years would be enough to recover significantly the signal induced by Venus on the Sun. Such a detection would be the ultimate proof that detecting an Earth twin in the near future is possible. However this is not an

easy task. A Low Cost Solar Telescope (LCST) was been installed on the outside of the TNG dome in May 2015. The LCST, consisting of an achromatic lens and an integrating sphere sitting on an amateur telescope tracking mount, is housed under a fixed acrylic dome. Light from the Sun is scrambled into an integrating sphere in order to treat it as a common unresolved star, and from here (through a 35m long optical fiber) the signal is sent to the Calibration Unit of HARPS-N.

The solar telescope and HARPS-N acquire full-disk spectra of the Sun covering the entire passband of HARPS-N every 5 minutes for typically six hours every cloud-free day. During a period of two years the LCST will be feeding Sun light to HarpsS-N and the RV variations will be calibrated by the AstroComb. The solar radial velocities observed with this solar telescope will be used to characterize and understand the effects of solar jitter by combining measurements made with the solar telescope/HARPS-N and Solar Dynamics Observatory (SDO) images of the Sun as well as detailed examinations of extremely high signal-to-noise ratio solar spectra. These spectra, with the help of solar satellites (SOHO, SDO, SOURCE), will make it possible to characterize all the sources of



de Dinámica Solar (SDO) del Sol, así como los exámenes detallados de espectros solares que tienen una relación extremadamente alta de señal a ruido. Estos espectros, con la ayuda de satélites solares (SOHO, SDO, SOURCE), facilitarán la caracterización de todas las fuentes de la señal estelar y será posible entender cada variación observada de VR.

**Fig. 1:** El telescopio solar se compone de una lente de 7,6 cm de diámetro que enfoca el disco solar entero sobre una esfera de integración que alimenta el sistema de calibración de HARPS-N. El telescopio sigue el Sol, mientras que el espectrógrafo HARPS-N adquiere espectros cada cinco minutos.



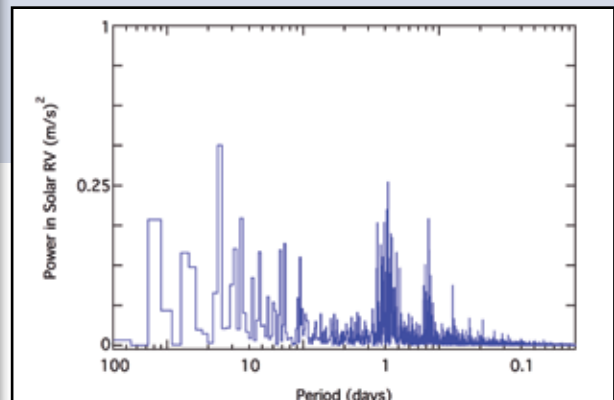
**Fig. 1:** The solar telescope consists of a 7.6 cm diameter lens focusing the full disk of the Sun into an integrating sphere which feeds the calibration system of HARPS-N. The telescope tracks the Sun while the HARPS-N spectrograph acquires spectra every five minutes.

stellar signal and it would be possible to understand every observed RV variation.

As a proof of principle demonstration of the detection of terrestrial exoplanets using the RV technique,

Como demostración inicial de la validez de la detección de exoplanetas terrestres mediante la técnica de VR, se recuperará la señal de la VR de 10 cm/s inducida por Venus sobre el Sol a partir de este conjunto de datos a largo plazo de las velocidades radiales solares. A partir de los dos años de recopilación de datos, será posible demostrar que se ha alcanzado la precisión y la estabilidad necesaria ( $VR < 0,1$  m/s) para detectar planetas rocosos como la Tierra en las zonas de habitabilidad de soles distantes.

**Fig. 2:** Espectro de periodos de VRs solares que muestra un pico significativo tanto en el período de rotación del Sol (aproximadamente 25 días) y en un día (debido a su combinación de datos de períodos más largos). Las observaciones siguen adquiriendo una base suficiente para iniciar la búsqueda de una señal de Venus con un período sinódico de 584 días.



**Fig. 2:** Periodogram of solar RVs showing significant power both at the rotation period of the sun (approximately 25 days) and at one day (due to aliasing from longer periods). Observations continue to acquire a sufficient baseline to begin searching for a signal from Venus with a synodic period of 584 days.

the 10 cm/s RV signal induced by Venus on the Sun from this long-term data set of solar radial velocities will also be retrieved. From the two years of data collection it will be possible to demonstrate that the necessary precision and stability that are needed ( $RV < 0.1$  m/s) to detect Earth like rocky planets in the habitable zones of distant Suns has been achieved.

## GTC

Durante 2015 el GTC tuvo una combinación única de instrumentos cubriendo el espectro electromagnético de 0,4 a 25 micrometros. Además de sus instrumentos de primera luz, OSIRIS en el espectro visible y CanariCam en el infrarrojo térmico, a partir de septiembre de 2015 la comunidad del GTC ha podido contar con la cámara de infrarrojo cercano CIRCE (Fig. 1). CIRCE es un instrumento visitante construido en la Universidad de Florida. Ofrece un modo de imagen de banda ancha en las bandas JHK con un campo de visión relativamente amplio (3,4 minutos de arco de lado, véase Fig. 2) y una escala de placa de 0,1 segundos de arco por píxel. Además, puede captar imágenes a alta velocidad y en un futuro próximo incorporará modos de imágenes de banda estrecha, polarimetría y espectroscopía de baja resolución ( $R \sim 450$ ).

Otra gran mejora a lo largo de 2015 fue la reparación y mejora de la cúpula del GTC, eliminando así una limitación, que venía ya de antiguo, a la hora de apuntar el telescopio cerca del cenit. Ello garantizará también una operación de la cúpula más sólida y segura.

**Fig. 1:** La cámara de infrarrojo cercano CIRCE, que es un instrumento visitante construido en la Universidad de Florida.



**Fig. 1:** the near-infrared camera CIRCE, which is a visitor instrument built at the University of Florida.

## GTC

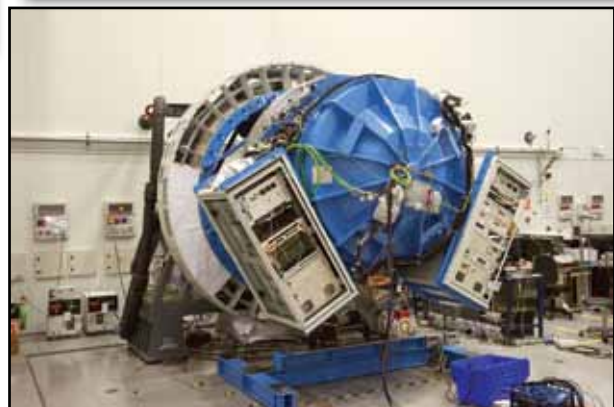
During 2015, GTC had a unique combination of instruments covering the electromagnetic spectrum from 0.4 to 25 micron. In addition to its first-light instruments, OSIRIS in the visible and CanariCam in the thermal infrared, the near-infrared camera CIRCE has been offered to the GTC community since September 2015. CIRCE is a visitor instrument built at the University of Florida (see Fig. 1). It offers broad band imaging in the JHKs bands with a relatively wide field of view (3.4 arcmin side, see Figure 2) and a plate scale of 0.1 arcsec per pixel. In addition, it also has fast imaging capabilities and, in the near future, narrowband imaging, polarimetry, and low resolution spectroscopy ( $R \sim 450$ ).

Another major improvement during 2015 was the repair and upgrade of the GTC dome, which removed a long-standing limitation in the telescope pointing near the zenith, and secures a more robust and safer dome operation.

Por último, a finales de 2015, la cámara de infrarrojo cercano y espectrógrafo multiobjeto EMIR completó con éxito las pruebas de aceptación en el IAC y ya está listo para ser enviado al GTC para empezar a funcionar a principios de 2016 (véase Fig. 3).

**Fig. 2:** Imagen en las bandas JHK de una región de formación estelar obtenida durante la puesta a punto del instrumento CIRCE.

**Fig. 3:** La cámara de infrarrojo cercano y espectrógrafo multiobjeto EMIR. Esta fotografía fue tomada en la Sala de integración y verificación del IAC en La Laguna.



**Fig. 2:** JHKs image of a star forming region obtained during the commissioning of CIRCE.

**Fig. 3:** The near-infrared camera and multi-object spectrograph EMIR. This photograph was taken at the IAC while it was in the Integration and Verification Laboratory.

Finally, at the end of 2015 the near-infrared camera and multi-object spectrograph EMIR has successfully completed its acceptance tests at the IAC, and is now ready to be shipped to the GTC for commission in early 2016 (see Fig. 3).

**CCI Members & Associates**  
(in alphabetical order by first name - May 2016)

Alessandro de Angelis (MAGIC) +39 0432 558100 [deangelis.alessandro@gmail.com](mailto:deangelis.alessandro@gmail.com)  
Alex Oscoz (IAC) +34 922 605 242 [aoscoz@iac.es](mailto:aoscoz@iac.es)  
Adrian Biland (MAGIC) +41 44 633 2020 [biland@phys.ethz.ch](mailto:biland@phys.ethz.ch)  
Bernard Gelly (THEMIS) +34 922 314 280 [BGelly@themis.iac.es](mailto:BGelly@themis.iac.es)  
Campbell Warden (IAC) +34 922 605 220 [campbell@iac.es](mailto:campbell@iac.es)  
Casiana Muñoz-Tuñón (IAC) +34 922 605 231 [Casiana@iac.es](mailto:Casiana@iac.es)  
Chris Benn (ING) +34 922 425 432 [crb@ing.iac.es](mailto:crb@ing.iac.es)  
Chris M. Copperwheat (LT2) +441 512 312 914 [c.m.copperwheat@ljamu.ac.uk](mailto:c.m.copperwheat@ljamu.ac.uk)  
Christoffel Waelkens (MERCATOR) +32 16 327 036 [christoffel@ster.kuleuven.be](mailto:christoffel@ster.kuleuven.be)  
Christopher Schmidt (HiCLASS-ROS, DLR) +49 8153 28-3091 [Christopher.Schmidt@dlr.de](mailto:Christopher.Schmidt@dlr.de)  
Colin Vincent (STFC) +44 179 344 2095 [Colin.Vincent@stfc.ac.uk](mailto:Colin.Vincent@stfc.ac.uk)  
Danny Steeghs (GOTO & SuperWASP) +44 2476 573 873 [D.T.H.Steeghs@warwick.ac.uk](mailto:D.T.H.Steeghs@warwick.ac.uk)  
Denis Mourard (INSU) +33 (1) 44 96 43 77 [denis.mourard@cnrs-dir.fr](mailto:denis.mourard@cnrs-dir.fr)  
Dirk Raback (LT) +34 922 405 571 È+34 616 168471 [dr@astro.livjm.ac.uk](mailto:dr@astro.livjm.ac.uk)  
Don Pollacco (SuperWASP) +44 (0)24 765 23965 [d.pollacco@warwick.ac.uk](mailto:d.pollacco@warwick.ac.uk)  
Elena Terlevich +52 222 266 3100 ext 1314 [eterlevi@inaoep.mx](mailto:eterlevi@inaoep.mx)  
Emilio Molinari (TNG) +34 922 433 666 [molinari@tng.iac.es](mailto:molinari@tng.iac.es)  
Franciso Almeida (ULL) +34 922 319 480 [viinve@ull.es](mailto:viinve@ull.es)  
François Leblanc (CNRS) +33 1 44 27 37 53 [francois.leblanc@latmos.ipsl.fr](mailto:francois.leblanc@latmos.ipsl.fr)  
Göran Scharmer (SST) +46-8-5537 8532 [scharmer@astro.su.se](mailto:scharmer@astro.su.se)  
Hans Kjeldsen (SONG) +45 8 942 3779 [hans@phys.au.dk](mailto:hans@phys.au.dk)  
Hans Van Winckel (MERCATOR) +3216 327 036 [hans.vanwinkel@ster.kuleuven.be](mailto:hans.vanwinkel@ster.kuleuven.be)  
Iain Steele (LT) [ias@astro.livjm.ac.uk](mailto:ias@astro.livjm.ac.uk)  
Jean Vernin (Université de Nice) +33 492 076 353 [vernin@unice.fr](mailto:vernin@unice.fr)  
Juan Carlos Pérez Arencibia (ORM) +34 922 425 710 [jcperez@iac.es](mailto:jcperez@iac.es)  
Juan Cortina (Cherenkov LST) +34 935 811 309 [cortina@ifae.es](mailto:cortina@ifae.es)  
Juan Martínez (ING) +34 922 425 414 [juan@ing.iac.es](mailto:juan@ing.iac.es)  
Juerg Rey (ING) +34 922 425 421 [juerg@ing.iac.es](mailto:juerg@ing.iac.es)  
Klaus G. Strassmeier (STELLA) +493 317 499 223 [kstrassmeier@aip.de](mailto:kstrassmeier@aip.de)  
Manel Martínez (CTA-LST1) +34 931 720 687 [martinez@ifae.es](mailto:martinez@ifae.es)  
Marc Balcells (ING) +34 922 425 403 [director@ing.iac.es](mailto:director@ing.iac.es)  
Marie-Hélène Papillon +33 144 964 385 [Marie-Helene.Papillon@cnrs-dir.fr](mailto:Marie-Helene.Papillon@cnrs-dir.fr)  
Michael Sigwarth (KIS) +497 613 198 184 [msig@kis.uni-freiburg.de](mailto:msig@kis.uni-freiburg.de)  
Michael Weber (STELLA) +493 317 499 351 [mweber@aip.de](mailto:mweber@aip.de)  
Miguel Mas Hesse (CSIC) +34 91 813 1196/1161 [mm@cab.inta-csic.es](mailto:mm@cab.inta-csic.es)  
Mike Bode (LT) +441 512 312 919 [mfb@astro.livjm.ac.uk](mailto:mfb@astro.livjm.ac.uk)  
Miquel Serra-Ricart (Teide) +34 922 605 364 / +34 922 329 124 [mserra@iac.es](mailto:mserra@iac.es)  
Nicola D'Amico (INAF) +39-06-3553 3310 [presidente@inaf.it](mailto:presidente@inaf.it)  
Oscar Blanch (MAGIC) +34 93 581 2839 [blanch@ifae.es](mailto:blanch@ifae.es)  
Oskar von der Lühe (DFG) +497 613 198 100 [ovdluhe@leibniz-kis.de](mailto:ovdluhe@leibniz-kis.de)  
Pedro Álvarez (GTC) +34 922 425 721 [pedro.alvarez@gtc.iac.es](mailto:pedro.alvarez@gtc.iac.es)  
Rafael Bachiller (CNA) +34 91 885 5063 [r.bachiller@oan.es](mailto:r.bachiller@oan.es)  
Rafael Rebolo (IAC) +34 922 605 220 [director@iac.es](mailto:director@iac.es)  
Razmik Mirzoyan (MAGIC) +49 89 32354 328 [razmik@mppmu.mpg.de](mailto:razmik@mppmu.mpg.de)  
Rob Hammerschlag (DOT) +31-30-253-5220 [R.H.Hammerschlag@astro.uu.nl](mailto:R.H.Hammerschlag@astro.uu.nl)  
Robert Smith (LT) +441 512 312 919 [rjs@astro.livjm.ac.uk](mailto:rjs@astro.livjm.ac.uk)  
Romano Corradi (GTC) +34 922 425 719 [romano.corradi@gtc.iac.es](mailto:romano.corradi@gtc.iac.es)  
Salvador Sánchez (MAGEC) +34 649 99 77 52 [astroam@gmail.com](mailto:astroam@gmail.com)  
Saskia Prins (MERCATOR) +34 922 425 412 [Saskia.Prins@ster.kuleuven.be](mailto:Saskia.Prins@ster.kuleuven.be)  
Thomas Augusteijn (NOT) +34 922 181 158 +34 922 405 663 [tau@not.iac.es](mailto:tau@not.iac.es)  
Valentina Zitelli (INAF) +39 051 2095739 [valentina.zitelli@oabo.inaf.it](mailto:valentina.zitelli@oabo.inaf.it)



Comité Científico Internacional  
of the Roque de los Muchachos  
and Teide Observatories of the  
Instituto de Astrofísica de Canarias