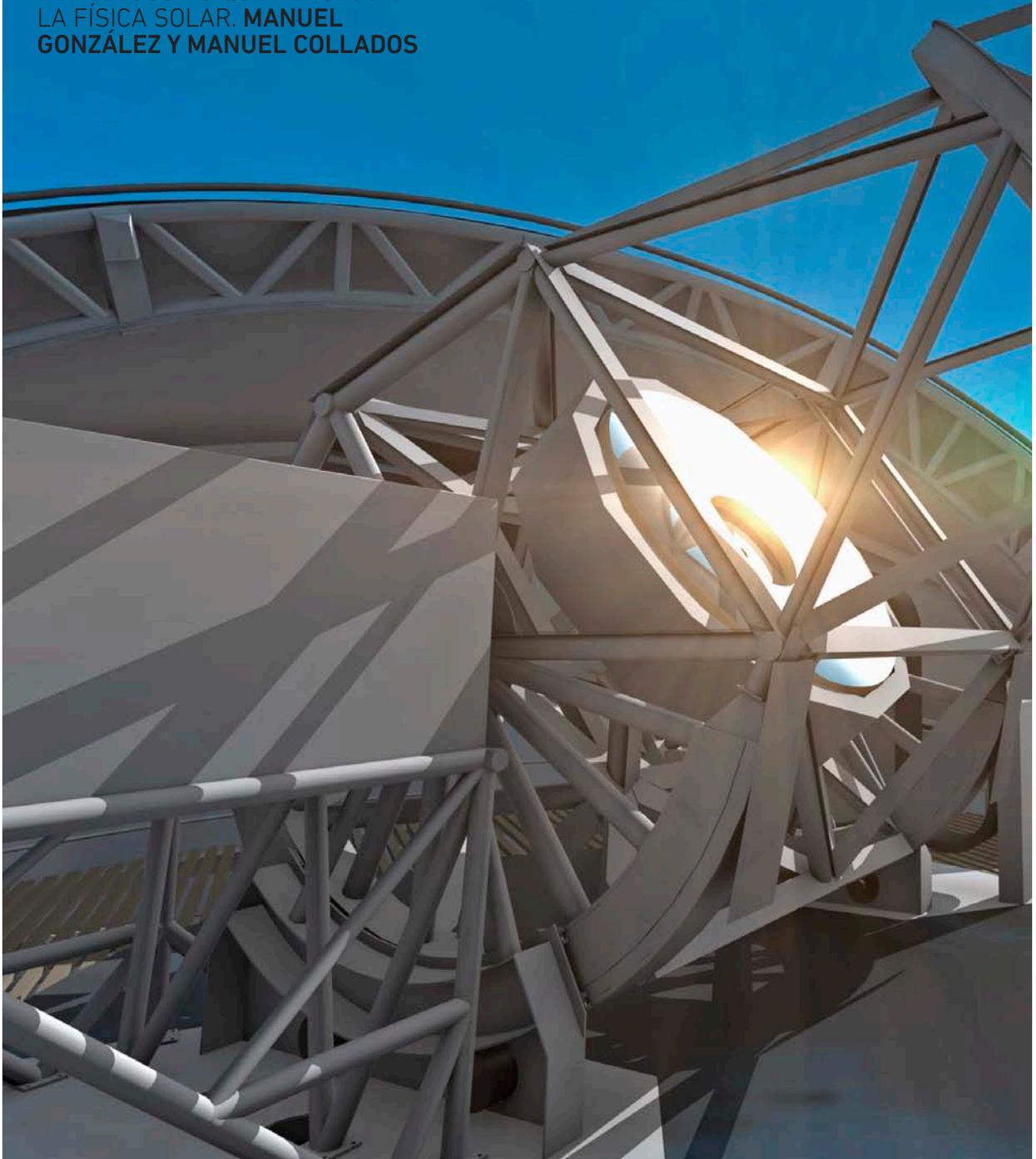
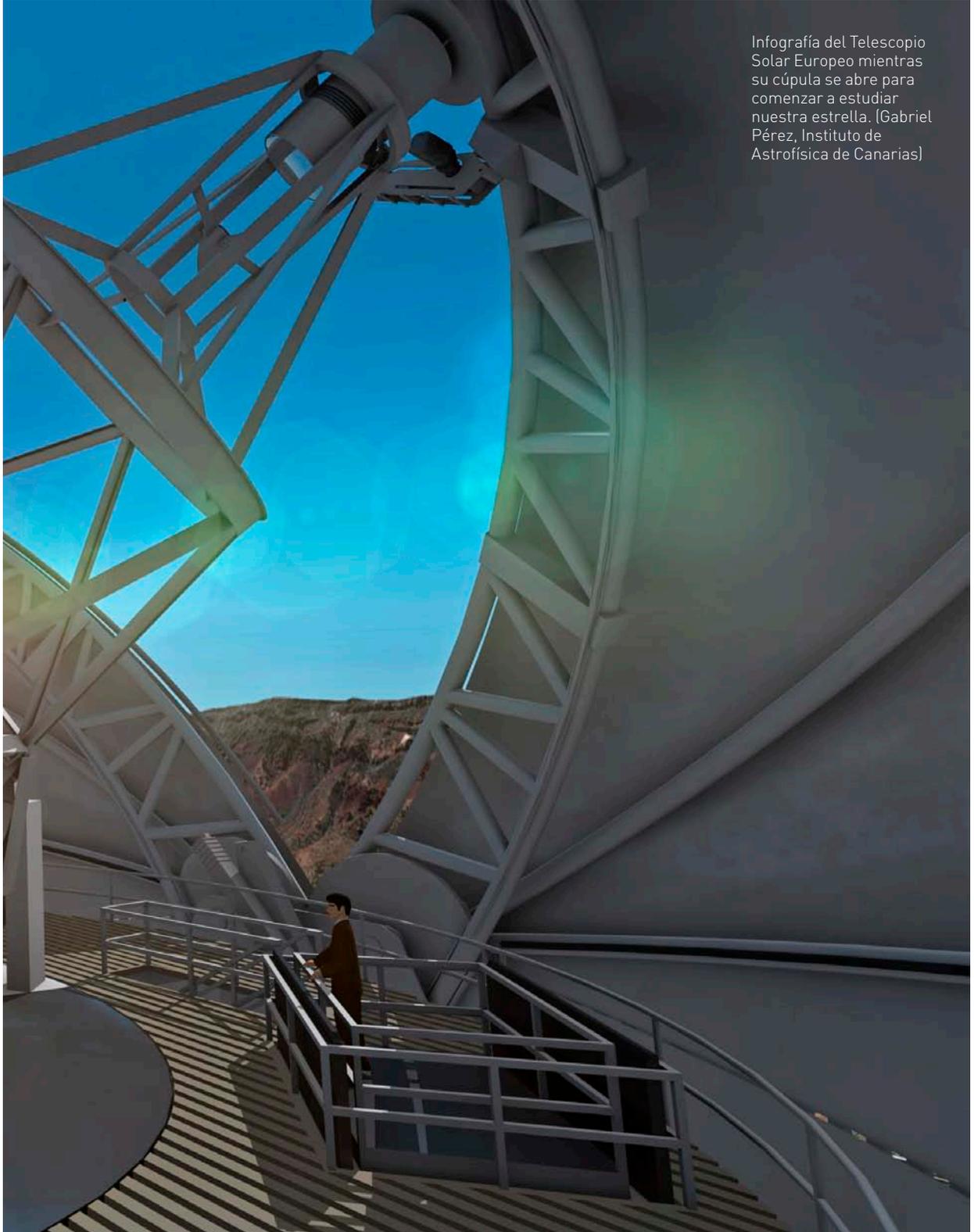


EST

EL TELESCOPIO QUE REVOLUCIONARÁ
LA FÍSICA SOLAR. **MANUEL
GONZÁLEZ Y MANUEL COLLADOS**





Infografía del Telescopio Solar Europeo mientras su cúpula se abre para comenzar a estudiar nuestra estrella. (Gabriel Pérez, Instituto de Astrofísica de Canarias)



Artículo exclusivo
colaboración de la
Sociedad Española
de Astronomía

La mañana del 1 de septiembre de 1859, el astrónomo británico Richard Carrington se encontraba observando una mancha solar en el observatorio de Redhill al sur de Londres, tal y como hacía habitualmente. De repente vio lo que él describió como «una gran llamarada blanca» en medio de la mancha. Efectivamente, se había producido una fulguración con eyección de masa coronal, un evento que ocurre con cierta frecuencia en el Sol, y que consiste en la expulsión de material al espacio, debido a la recombinación de líneas magnéticas. Los efectos no se hicieron esperar. Durante varios días alumbraron la tierra auroras boreales de gran intensidad. Algunas de estas auroras llegaron a verse en puntos tan distantes como Menorca, Perú o Cuba. Este bello espectáculo tuvo, sin embargo, una contrapartida trágica: las líneas de telégrafos (una tecnología recién nacida) sufrieron una fuerte sobrecarga, y algunas comenzaron a arder. Otras consiguieron funcionar durante varios días sin necesidad de usar baterías. Esta tormenta solar, según los astrónomos, fue la más potente de los últimos quinientos años, tal y como revelan los registros del hielo antártico. Si ocurriera hoy en día, sus consecuencias para las telecomunicaciones serían impredecibles.

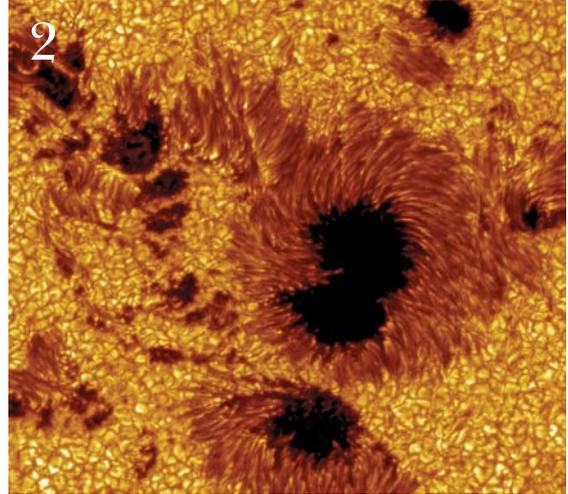
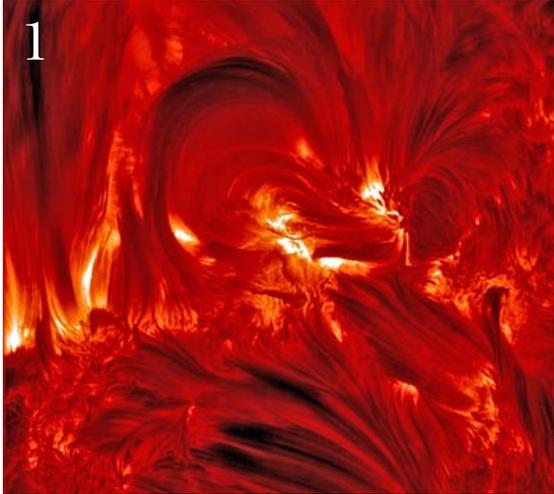
El Sol es la estrella más cercana a nuestro planeta. La energía que libera es, entre otros factores, la responsable de que exista vida en la Tierra. Gracias a la luz solar, las plantas hacen la fotosíntesis, fijan el CO₂ de la atmósfera, crecen, dan frutos, se reproducen... De alguna manera, se podría decir que cualquier fruto de los que nos alimentamos no es sino luz solar procesada. No solo eso, sino que el ciclo día/noche permite que la vida se haya desarrollado en nuestro planeta. Por otra parte, la energía solar es una de las más importantes fuentes de energía limpia con la que contamos, aunque aún no hayamos sido capaces de sacarle todo el partido posible. Se estima que la energía liberada en una de las tormentas solares de las que hablábamos anteriormente sería capaz de dar energía a todo Estados Unidos durante más de un millón de años. En cambio, aún no sabemos cómo aprovecharla adecuadamente. Pese a todo, gracias al Sol vivimos. Necesitamos el Sol para existir. Fundamental y terrible. Adorado y temido. No es de extrañar que en la antigüedad el Sol fuera considerado como un dios.

Además de las implicaciones en nuestra vida cotidiana, el Sol constituye un objeto de altísimo interés astronómico. Tenemos la gran suerte de tener una estrella a tan solo 150 millones de kilómetros (una naidería teniendo en cuenta que la siguiente estrella más cercana se encuentra unas trescientas mil veces más lejos). Podemos verlo muy de cerca. Observar su superficie, distinguir sus detalles. Está ahí, al alcance de

FIGURA 1. La cromosfera es una de las capas más dinámicas de la baja atmósfera solar y EST permitirá estudiar con detalle su rápida evolución. Gracias a su instrumentación, podremos obtener imágenes de los campos magnéticos solares en distintas capas, con una resolución de hasta unos 25 km en la superficie del Sol. Esto permitirá responder preguntas abiertas desde hace mucho tiempo acerca de la creación y evolución de los campos magnéticos en la atmósfera solar. (Swedish 1-m Solar Telescope)

FIGURA 2. Pese a ser observadas desde hace siglos, las manchas solares suponen todavía un enigma: no sabemos por qué su penumbra tiene una apariencia filamentososa, o cómo se forman y desaparecen. La estructura de las manchas solares está regida por la interacción entre sus fuertes campos magnéticos y el plasma, pero apenas se entienden los detalles, debido a las pequeñas escalas espaciales involucradas en estos procesos. EST resolverá dichas escalas, aportando nueva luz sobre la naturaleza de estas estructuras fascinantes. (Swedish 1-m Solar Telescope, Luc Rouppe Van der Voort)

nuestra mano. Podemos deducir características de las estrellas gracias a instrumentación de alta precisión, que nos permite estudiar el Sol con mucha resolución. Somos capaces de analizar sus campos magnéticos e intentar predecir su comportamiento. Desde la antigüedad, el ser humano ha estudiado nuestra estrella intentando desentrañar sus secretos. Los útiles de observación han ido evolucionando hacia tecnologías más y más complejas, hasta llegar a los grandes telescopios solares actuales. Dentro de este camino hacia un mejor conocimiento del Sol, la astronomía europea ha tenido un papel preponderante. El próximo paso también será dado por Europa mediante el Telescopio Solar Europeo.



UN GRAN PROYECTO PARA ENTENDER LOS SECRETOS DEL SOL

El Telescopio Solar Europeo (o EST, el acrónimo de su nombre en inglés, *European Solar Telescope*) es un proyecto para construir el que será el mayor telescopio dedicado a la observación del Sol que haya existido nunca en suelo europeo. Se instalará en las Islas Canarias y constará de un espejo primario de 4 metros, mucho mayor que ningún otro telescopio solar actual. Para poner las cosas en contexto, cabe destacar que el mayor telescopio dedicado a la observación del Sol existente hoy en día es el Goode Solar Telescope, en el lago Big Bear, California, con un espejo de 1,6 m. Gracias al espejo tan grande de EST, podremos ver detalles en la superficie del Sol con una resolución sin precedentes (de hasta unos 25 kilómetros). Dicho espejo estará situado sobre una torre de 38 metros de altura para evitar en la medida de lo posible la turbulencia atmosférica, y contará con sistemas de óptica adaptativa que permitan tener una imagen lo más nítida posible.

El tipo de montura permitirá que toda la instrumentación se pueda situar fuera del eje óptico, lo que hará posible la observación simultánea con un conjunto de instrumentos especializados en observaciones de alta sensibilidad y espectropolarimetría en múltiples longitudes de onda. Y eso es otro de los puntos fuertes de EST: gracias a la posibilidad de utilizar simultáneamente varios instrumentos, EST proporcionará datos simultáneos de los campos magnéticos solares en distintas capas de nuestra estrella con una altísima resolución. Seremos capaces de entender qué ocurre con los campos magnéticos a distintas alturas, y de esta manera podremos explicar cómo nacen, emergen y evolucionan dichos campos. Estos datos son fundamentales para entender el comportamiento solar. Porque un gran número de fenómenos que tienen lugar en nuestra estrella se deben a los campos magnéticos. Simplificando mucho el asunto, se puede decir que el Sol es un gran imán, y EST supondrá un instrumento de gran ayuda para entenderlo.

Si las cosas van según lo previsto, la construcción de EST comenzará en 2021, y se espera que la primera luz tenga lugar en 2027, tras seis años de trabajo. En estos momentos, el proyecto se encuentra en la fase de diseño final, en la que se están refinando los detalles tecnológicos y actualizando los casos científicos que se estudiarán con prioridad. Asimismo, se está haciendo un estudio pormenorizado de la estructura legal que mejor conviene a un proyecto de estas características, y se están estableciendo esquemas legales y de financiación que permitan que el telescopio sea viable durante los treinta años de vida útil que, por lo menos, se espera que tenga. Entretanto, se están llevando a cabo pruebas en los dos observatorios canarios (el observatorio del Teide, en la isla de Tenerife, y el observatorio del Roque de los Muchachos, en La Palma) para decidir cuál será el emplazamiento adecuado en uno de ellos. El resultado de dichas pruebas se dará a conocer durante el año que viene. Sea cual fuere la decisión final,

3



los observatorios canarios constituyen un lugar de primera clase a nivel mundial para el emplazamiento de EST, debido a la calidad de sus cielos y a las excelentes condiciones para la observación astronómica de ambos lugares. Durante años se ha llevado a cabo un seguimiento y caracterización continuos de la calidad del cielo en dichos observatorios, hasta el punto de conseguir un especial grado de protección con una ley nacional. El gobierno de las Islas Canarias apoya la construcción de EST y lo ha incluido en el plan Estrategia de Especialización Inteligente de Canarias como una infraestructura de gran escala que formará parte de uno de los observatorios de Canarias.

EST no es el único telescopio solar de este tamaño que verá la luz en el mundo en los próximos años. El estadounidense DKIST (*Daniel K. Inouye Solar Telescope*), cuya construcción ya ha comenzado en Hawái, y que consta de un espejo principal de 4 metros, proporcionará una visión complementaria a la del EST en la otra punta del mundo. Esto hace que por primera vez en la historia seremos capaces de observar nuestra estrella con telescopios terrestres de altísima resolución durante prácticamente las 24 horas del día.

CIENCIA CON EL TELESCOPIO SOLAR EUROPEO

Hay preguntas científicas que atañen a nuestra estrella que to-

FIGURA 3. Observatorio del Roque de los Muchachos es uno de los dos lugares previstos para la instalación del EST. A la izquierda de la imagen, la pequeña torre de caracterización de seeing y calidad del cielo. (IAC)

avía no tienen respuesta. Sabemos que las manchas solares, grandes estructuras en la superficie del Sol que evolucionan con el tiempo, están formadas por los campos magnéticos. Estos campos son los responsables de que las manchas existan, pero aún no entendemos cuál es su estructura y su evolución. Por otro lado, tampoco sabemos cómo emergen a través de la superficie solar, ya que la instrumentación y los telescopios con los que contamos has-



ta ahora no nos permiten una resolución espacial y temporal suficiente en nuestras observaciones de dichos campos. Conocemos que la cromosfera (una de las capas que forman la baja atmósfera solar) está a mayor temperatura que la capa inmediatamente inferior, la fotosfera, pero no sabemos qué genera su calentamiento adicional. Y también desconocemos cuáles son los mecanismos que desencadenan las erupciones solares, que tanta influencia pueden llegar a tener sobre los satélites de comunicaciones. Todas estas preguntas han estado en la mente de los más importantes físicos solares desde hace mucho tiempo. Por ello, el principal objetivo de EST es investigar la estruc-

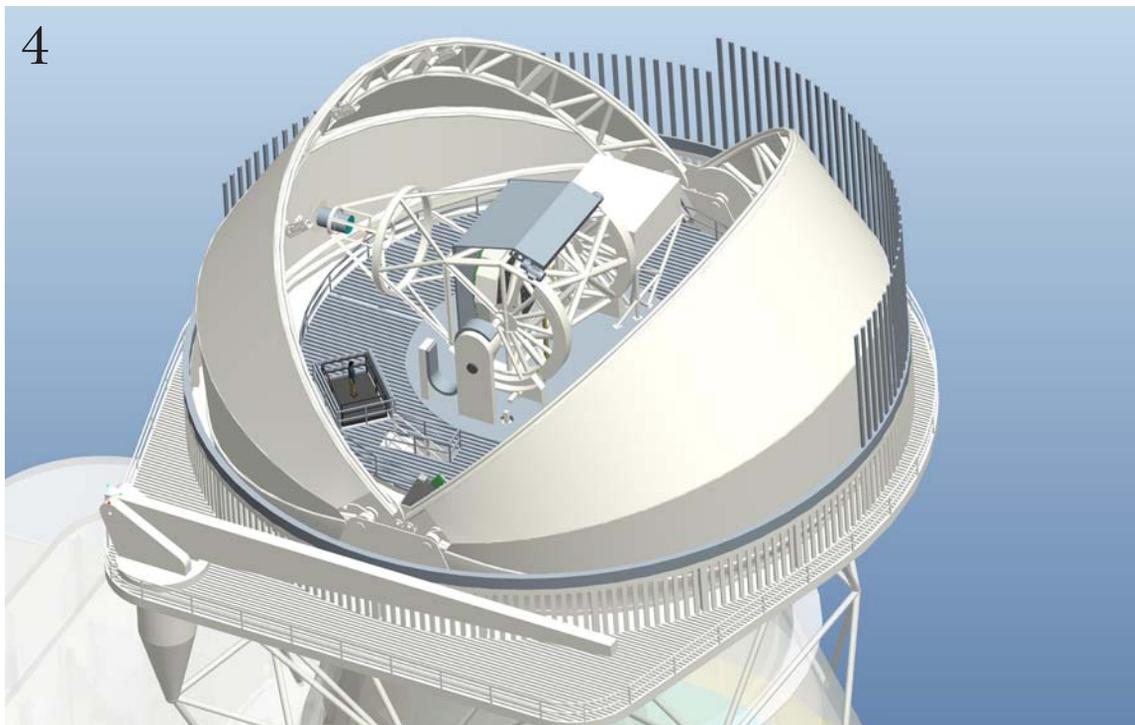
tura, dinámica y energía de la baja atmósfera solar, donde los campos magnéticos interactúan continuamente con el plasma, y la energía magnética se libera ocasionalmente en forma de poderosas explosiones. EST se utilizará para desentrañar el funcionamiento de la atmósfera solar con un detalle sin igual y resolver dichas preguntas abiertas.

UN DESAFÍO TECNOLÓGICO

EST supone un importante reto tecnológico en áreas críticas como control térmico, óptica adaptativa e instrumentación. En efecto, el calentamiento de los componentes del telescopio es un problema no trivial. Un exceso de temperatura en su estructura hace que la

imagen sufra distorsiones, tanto por las dilataciones térmicas como por la turbulencia que generan las zonas más calientes. Determinados elementos de la estructura pueden llegar incluso a ser dañados por las altas temperaturas que alcanzarían si no son controlados. Para solucionar esto, aparte de una cúpula retráctil que favorece la entrada y renovación de aire, los elementos más críticos están controlados térmicamente. Por ejemplo, los espejos del telescopio contarán con una corriente de aire frío constante que estabilice su temperatura.

Por otra parte, variaciones térmicas a pequeña escala crean turbulencias en la atmósfera de la Tierra y degradan la calidad



de la imagen. Para minimizar este problema, se ha incorporado un sistema de óptica adaptativa multiconjugada en el diseño de EST desde las primeras fases y así corregir las distorsiones del frente de onda producidas por la atmósfera. Los socios de EST están llevando a cabo un robusto programa de desarrollo para mejorar la calidad de los espejos deformables de óptica adaptativa multiconjugada y los sensores de frente de onda.

Desde el punto de vista del análisis de la luz recibida, hay un gran trabajo instrumental que llevar a cabo. Las propiedades de los campos magnéticos solares se pueden inferir a partir del análisis de observaciones espectropolarimétricas. Los espectrógrafos de rendija producen las medidas más sensibles, pero son lentos porque se precisa escanear la superficie solar paso a paso para

generar mapas en dos dimensiones. EST solucionará este problema con etalones sintonizables de gran formato y Unidades de Campo Integral (*Integral Field Units*) basadas en divisores de imagen multirrendija (*multi-slit image slicers*) o matrices de microlentes (*microlens arrays*). Los socios de EST están construyendo actualmente varios prototipos y desarrollando soluciones innovadoras para EST, en estrecha colaboración con la industria europea. La construcción de EST ofrece una oportunidad única en términos de desarrollo tecnológico así como la posibilidad de crear contratos industriales para mejorar la competencia europea en el diseño y fabricación de estructuras mecánicas, elementos ópticos de gran formato, detectores de alta velocidad, instrumentación científica de precisión o sistemas de gestión de datos.

FIGURA 4. En esta recreación artística hecha por ordenador se puede apreciar cómo será la cúpula del futuro Telescopio Solar Europeo. El espejo primario, de 4 metros, permitirá una resolución espacial no alcanzada hasta ahora por ningún telescopio dedicado al Sol. La cúpula se abre totalmente para permitir la circulación de aire, lo que contribuye de manera natural a una disminución de la turbulencia generada por el calentamiento solar, al ser arrastrada por el viento. [EST-EAST]

UN PROYECTO EUROPEO

EST es, ante todo, un proyecto europeo. El telescopio se instalará en las Islas Canarias y recibe el apoyo directo de la Asociación Europea de Telescopios Solares (EAST, *European Association for Solar Telescopes*). Constituida por diecisiete países europeos, EAST tiene como objetivo principal facilitar a la comunidad astronómica europea el acceso a las mejores infraestructuras de investigación en física



solar del continente. EST es una prioridad para EAST, quien promueve el proyecto.

Por otra parte, desde 2016 EST forma parte de la hoja de ruta del Foro Europeo para Infraestructuras de Investigación (ESFRI, *European Scientific Forum for Research Infrastructures*). Dicho organismo analiza, estudia y decide qué proyectos científicos de primer nivel son prioritarios para la Unión Europea. Esto quiere decir que la comunidad científica europea considera el proyecto como una de las más importantes infraestructuras científicas que están por venir en los próximos años. Así, desde el año 2008 varios programas marco FP7 y H2020 de la Unión Europea han servido para financiar proyectos que tenían como objetivo dar los pasos necesarios hacia la construcción de EST: con

EST-DS, SOLARNET I, GREY y actualmente PRE-EST y SOLARNET II se han estudiado todos los aspectos legales, financieros, científicos y tecnológicos necesarios para que una infraestructura de las características de EST pueda ser una realidad.

También será europeo el sistema de gobernanza del telescopio. Tras un largo trabajo de documentación y de estudio de las distintas opciones sobre la mesa, el Consejo de EST decidió en su asamblea general del pasado mes de abril que EST será un Consorcio de Infraestructura de Investigación Europea (ERIC, *European Research Infrastructure Consortium*) ubicado en España. Entre otras ventajas, este tipo de figura legal provee un marco adecuado para la cooperación transnacional entre los distintos socios, así como una estabilidad a largo plazo, lo que

FIGURA 5. Recreación artística hecha por ordenador del futuro Telescopio Solar Europeo. El diseño contempla una torre de 38 metros de altura, para reducir los efectos de la turbulencia atmosférica, y una montura que permite tener la instrumentación fuera del eje, con lo que se pueden utilizar distintos instrumentos al mismo tiempo. [Gabriel Pérez, Instituto de Astrofísica de Canarias]

es ideal para esta clase de proyectos. De la misma manera, este tipo de consorcios implica una visibilidad adecuada a nivel político, facilitando el que las agencias negociadoras europeas y entidades políticas tengan en cuenta el proyecto. El proceso de constitución de un ERIC se hace a nivel gubernamental. Por ello, el Ministerio español de Ciencia, Innovación y Universidades comenzará en breve las negociaciones con sus homólogos europeos que desemboquen



FIGURA 6. Las protuberancias son formaciones espectaculares de plasma frío suspendido por encima de la superficie solar. Gracias a la estabilidad de los campos magnéticos que las sostienen son visibles durante semanas o incluso meses. Eventualmente, los campos se alteran y las protuberancias se desestabilizan, generando en algunas ocasiones eyecciones de masa coronal. Cómo se forman las protuberancias y por qué erupcionan son preguntas cuyas respuestas no conocemos. EST las resolverá con medidas precisas de los campos magnéticos. (NASA-SDO)



FIGURA 7. Las erupciones solares consisten en la liberación súbita de energía en la corona solar y en la cromosfera. Representan las explosiones más poderosas del Sistema Solar, y se cree que están controladas por reconexión magnética, un proceso universal en el que los campos magnéticos interactúan y se aniquilan entre sí. Hasta ahora no se ha obtenido ninguna prueba directa de este mecanismo en el Sol. EST permitirá tales observaciones para entender mejor esa conversión de energía magnética del campo en energía térmica y cinética del plasma. (NASA Goddard Space Flight Center)

en la constitución de un ERIC que ofrecerá un marco legal sólido para el EST.

Finalmente, cabe destacar que la presencia de España en este telescopio es notable. Además de situarse en las Islas Canarias,

dos institutos de investigación españoles han estado involucrados en el proyecto desde sus orígenes. Por una parte el Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC) es el principal coordinador y gestor del proyecto, y en sus instalaciones se llevan a cabo desarrollos tecnológicos que formarán parte del telescopio una vez esté construido. Por la otra, el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC) ha colaborado en el proyecto desde un punto de vista científico y tecnológico desde que este daba sus primeros pasos. Además, actualmente es el responsable del paquete de comunicación del proyecto. Ambos institutos son la muestra de que España puede liderar el camino para construir un telescopio que está llamado a revolucionar la física solar en nuestro continente. No hay que olvidar tampoco los contactos y colaboraciones continuos que ha llevado a cabo el proyecto con la industria nacional en diversos aspectos tecnológicos claves.

Así pues, todos los elementos están a punto para dar los últimos pasos hacia el Telescopio Solar Europeo. En tan solo tres

años, se pondrá la primera piedra de un instrumento que va a suponer una revolución en el conocimiento de nuestra estrella. Gracias a EST, seremos capaces de observar estructuras con un detalle sorprendente en la superficie solar. Podremos estudiar simultáneamente cómo evolucionan los campos magnéticos en la fotosfera y en la cromosfera, con una precisión nunca alcanzada hasta ahora. Tendremos imágenes con una calidad sin igual de manchas solares, protuberancias o eyecciones. Conoceremos, un poquito mejor, a esa estrella que tenemos tan cerca, a la que debemos que exista la vida en este planeta y que es nuestra puerta de entrada al universo. (A)



Manuel González (IAA-CSIC) es astrónomo, divulgador y responsable de comunicación del EST. **Manuel Collados** (IAC) es físico solar e investigador principal del proyecto EST.