



La región de formación estelar NGC 3603. (NASA, ESA y el Hubble Heritage Team -STScI/AURA-)

Astronomía

MOTOR DE LA HUMANIDAD

Puede que no haya otra ciencia como la astronomía que tenga tanta responsabilidad en la visión que hoy en día tenemos de nuestra sociedad y de nosotros mismos. El autor propone un paseo histórico y una reflexión sobre el papel de la astronomía en el mundo actual.

EMILIO J. ALFARO

La ciencia y la semántica mantienen una difícil relación. Por un lado los charlatanes utilizan el adjetivo «científico» para calificar cualquiera de sus rentables actividades con el encomiable ánimo de hacerlas aún más rentables, y, por otro, los agentes de evaluación y prospectiva, tienden a subdividir la ciencia en cajas etiquetadas que según su criterio requieren diferentes tratamientos. Ciencia básica y ciencia aplicada estructuran esta primera clasificación.

Si esto fuera solo toreo de salón la cosa no tendría más recorrido, pero esta clasificación incide directamente en la forma en que se reparte el cada vez más escaso dinero asignado a financiar los distintos programas I+D nacionales e internacionales. En la mayoría de las convocatorias se hace un distinguo entre ciencia básica y ciencia aplicada que suele traducirse en algún eufemismo como «ciencia de excelencia» y «retos de la sociedad». Es difícil encontrar a la astronomía entre los retos sociales. Podemos ser excelentes pero damos la impresión de vivir de espaldas a la sociedad. ¿Es esto así? ¿Es esto así ahora? ¿Lo ha sido siempre? ¿Es es-

ta la imagen que tiene la sociedad de nuestro trabajo? ¿Es esta la imagen que tenemos nosotros mismos de nuestra ciencia?

Una breve respuesta a estas preguntas encabeza este escrito: la astronomía es un motor de la humanidad y un elemento indispensable del binomio cultura-sociedad. La sociedad y el conocimiento astronómico han ido de la mano desde el principio de la humanidad y en muchas ocasiones este último ha sido la vanguardia de revoluciones culturales y sociales que han conformado el devenir histórico de nuestra especie. En lo que sigue trataré de dar algunos argumentos que apoyan esta idea.

TIEMPO Y ESPACIO

Una singularidad del ser humano en relación con otras especies animales es el sentido de trascendencia. Sabemos que somos individuos con un tiempo de vida limitado sobre la faz de la Tierra, lo que ha llevado a la creación de diferentes religiones, múltiples escuelas filosóficas y a intentar conocer con precisión nuestra posición en este mundo, a localizarnos en el espacio y el tiempo, a saber dónde y cuándo estamos. Como individuos este conocimiento puede ser vital para retrasar en lo

posible el paso más trascendental, para sobrevivir en un mundo donde el conocimiento del dónde y el cuándo puede evitar que mi camino transcurra por el territorio de algún depredador letal o me alcance la noche sin el resguardo de un refugio seguro. Como sociedad la situación no es muy diferente, la formación y mantenimiento de los primeros imperios requirió la generación de mapas; el establecimiento de rutas comerciales tanto terrestres como marítimas; y un calendario que permitiera ordenar temporalmente los hechos más importantes de la vida política y económica de esa sociedad: el advenimiento y caída de las dinastías, las grandes guerras, la aparición del cometa, los tiempos de la siembra y recolección de los frutos, la llegada de las grandes lluvias o de las temibles sequías, la época de apareamiento y nacimiento del ganado, la crecida de los grandes ríos, etc. La observación de los movimientos celestes proporcionó las primeras respuestas a estas cuestiones. La concatenación del día y la noche, el movimiento lunar con sus bellas y enigmáticas fases, la variación de la duración del día y la pauta del movimiento solar tenían un comportamiento cíclico que permitió es-

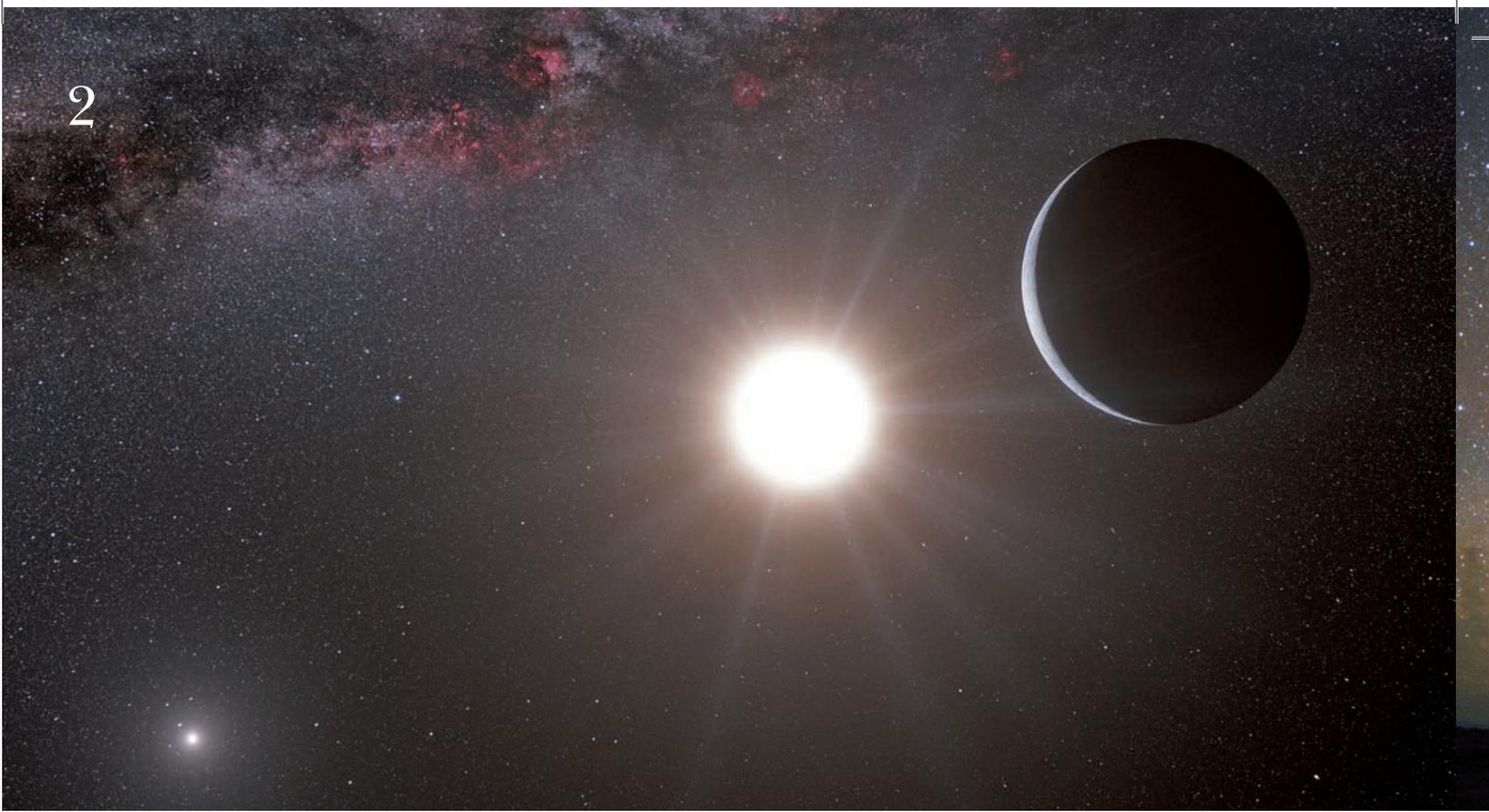


FIGURA 2 Impresión artística del exoplaneta más cercano a la Tierra, en torno a Alfa Centauri B. (ESO/L. Calçada/Nick Risinger -skysurvey.org-) **FIGURA 3** Uno de los telescopios del VLT en el Observatorio de Cerro Paranal, Chile. (Y. Beletsky -LCO-/ESO)

tablecer tres periodos temporales diferentes, bien conocidos por todos: el día, el mes y el año. Las primeras sociedades organizadas confeccionaron sus calendarios sobre la base del periodo lunar, más fácil de determinar que el periodo solar anual. Sin embargo la necesidad de asociar un ciclo astronómico a las variaciones estacionales del clima propició el uso del calendario solar. Después de una primera etapa con calendario lunar Egipto adoptó el solar, así como Roma y, por herencia cultural, casi todo el occidente europeo. La Luna sigue rigiendo el calendario musulmán estableciendo el comienzo y final de sus principales fiestas religiosas, aunque antes de la Hégira los pueblos de la península arábiga ordenaron el paso del tiempo por los ciclos combinados del Sol y la Luna, calendario lunisolar al igual que lo hicieron los hebreos y los chinos.

El hecho de que el periodo anual no sea múltiplo entero del mes lunar y ninguno, del día, ha complicado la instauración de un calendario único y duradero. Julio César al acceder al consulado encontró un calendario romano caótico y desajustado y abordó el problema establecien-

do una nueva definición de año, el año juliano, que constaba de 365 días divididos en 12 meses de entre 29 y 31 días y un método de corrección de la fracción de día perdida cada año, que incluía un día adicional, en febrero, cada cuatro años, el año bisiesto. La verdadera duración del año no es de 365,25 días, como se estimaba en el siglo I a.C., sino de 365d 5h 48m 46s, lo que hace que el año juliano sea 11m 14s más largo que el año solar, esto es unos 0,008 días más, de tal manera que gana un día cada 125 años. Como consecuencia, en el calendario juliano la fecha del equinoccio de primavera, punto de partida de la determinación de la fecha del Domingo de Pascua, se fue anticipando cada vez más, hasta que en el año 1582 tuvo lugar el 11 de marzo, en vez del día 21 como había sucedido en la época del Concilio de Nicea (año 325) donde se había regulado por primera vez el calendario eclesiástico. Este desajuste llevó al Papa Gregorio XIII, aconsejado por Roger Bacon y por el astrónomo jesuita Cristóbal Clavius, a ordenar que se corrigiera el calendario. A la cuenta de los días según el viejo calendario juliano se le suprimieron diez días, de mo-

do que el día inmediato al 4 de octubre de 1582 sería el día 15 en vez del 5. Además, para evitar el desplazamiento futuro del equinoccio decretó, que en lo sucesivo, en los años seculares o centurias solo serían bisiestos aquellos cuyas centenas fueran divisibles por 4 (de esta manera, los años 1900 y 2100 no son bisiestos y sí lo son los años 2000 y 2400). Esta reforma, el calendario gregoriano, se adoptó inmediatamente por todos los países católicos, pero la iglesia griega y la mayor parte de las naciones protestantes rehusaron reconocer la autoridad del Papa. Aunque modificaron el calendario civil en años posteriores no sucedió lo mismo con el religioso. Si el establecimiento de escalas temporales basadas en los ciclos astronómicos ha suscitado tanta controversia llegando incluso a intervenir en la política de las naciones y a utilizarse como arma ideológica en las banderías religiosas, la importancia del dónde no le va a la zaga y la respuesta también vino de los cielos.

Los primeros mapas terrestres estaban basados en la posición relativa de accidentes geográficos donde la distancia entre unos y otros se medía por los pasos de hombres y bes-



tías de las caravanas que recorrían las rutas comerciales. La navegación marítima implica otro tipo de conocimiento. Salvo en las travesías de bajura donde los accidentes costeros sirven como puntos de referencia, el mar se convierte en un desierto cuyos únicos hitos vienen dados por la posición de los astros en la esfera celeste: el Sol durante el día y las estrellas en la noche. La posición de un punto sobre la esfera terrestre se fija por dos ángulos: latitud y longitud, medidos respecto a dos círculos máximos: el ecuador y un meridia-

El conocimiento astronómico ha sido la vanguardia de revoluciones culturales y sociales que han conformado el devenir histórico de la Humanidad

no de referencia. El hecho de que la bóveda celeste parezca girar alrededor de un eje, uno de cuyos anclajes puede asociarse a la posición de una estrella, permitió establecer una dirección de referencia y la medida de la latitud terrestre. La estrella Polar nos señala el norte y el ángulo entre este objeto y el horizonte local nos

permite el cálculo de la latitud. De día, la altura máxima del Sol respecto al horizonte, junto con la fecha, nos proporciona la misma información. Ya tenemos la primera coordenada, pero ¿qué pasa con la longitud? La medida de la longitud, la búsqueda del mejor procedimiento para estimar este ángulo, representa una de las mayores aventuras del pensamiento humano y el establecimiento del primer programa científico internacional patrocinado por los Estados.

La respuesta vino de una simbiosis de saberes que lleva muchos siglos funcionando: ciencia y técnica. John Harrison, relojero inglés, diseñó un reloj de precisión que permitía llevar la hora exacta desde el puerto de origen hasta cualquier rincón remoto del planeta. La solución al problema de la longitud basada en conocer en todo momento la hora correspondiente al meridiano del puerto de salida no era nueva, y sus fundamentos teóricos ya habían sido postulados, entre otros, por Galileo Galilei, pero la tecnología para poder medir el tiempo con la precisión requerida, en las condiciones tan variables y difíciles de una travesía marítima, solo se consiguió en

1759 con el cronómetro H-4 construido por un genio de la mecánica dotado de una voluntad de hierro. La navegación se hizo más segura y los observatorios astronómicos se encargaron de la edición anual de los almanaques náuticos que facilitaban los datos necesarios para la determinación de las posiciones y rumbos de esa riqueza flotante que representaba la marina mercante de los países europeos. Desde 1792 el Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando sigue publicando el almanaque náutico, aunque hoy sea más bien un elemento didáctico para la formación de futuros marinos que la herramienta imprescindible que fue hasta que los satélites y el Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas inglesas) lo relegaran al papel de una curiosidad histórica. Sin embargo la trama de los cielos sigue dirigiendo el rumbo de otras naves. Nuestros satélites artificiales y cohetes espaciales utilizan los mapas estelares para determinar su posición y trazar su derrota. Hasta ahora nos hemos referido a cuestiones de índole práctica, a cómo la astronomía ha contribuido a la navegación marítima y espacial, y a la influencia de estos descubrimientos sobre aspectos económicos, culturales y políticos de la sociedad. Pero la astronomía no solo nos ha pro-

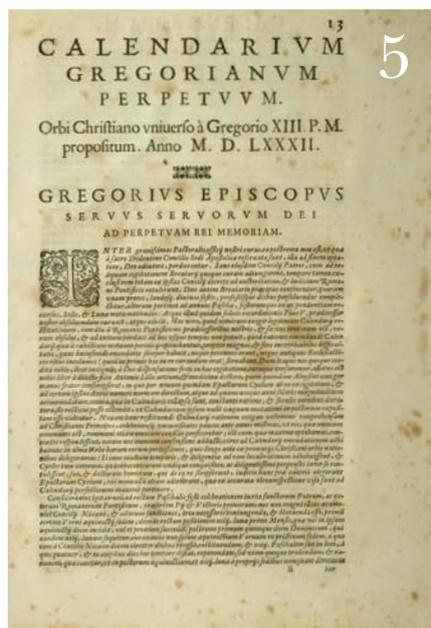
porcionado una manera de conocer dónde y cuándo, de medir ángulos sobre la superficie de la Tierra o posicionar naves en el espacio exterior, sino también una respuesta científica a la propia naturaleza del espacio y el tiempo que pasan entonces de ser una abstracción de la conciencia, una mera convención lingüística, a una realidad objetiva. Las propiedades del espacio-tiempo se entrelazan con la masa para darnos la visión más completa, hasta el momento, de cómo se formó y cómo evoluciona nuestro Universo. Nos hemos interrogado sobre nuestros orígenes y hemos sido capaces de darnos unas respuestas siguiendo el método científico, uniendo ciencia y técnica, y liderando la vanguardia del pensamiento en las grandes revoluciones intelectuales que han jalonado la historia de la humanidad.

INSTRUMENTACIÓN ASTRONÓMICA

El ideal de la observación astronómica puede resumirse en una suerte de lema olímpico: «más sensibilidad, más resolución espectral, más resolución espacial y temporal, más campo de visión, más rango dinámico y más rango espectral». La solución más simple pasa por poner telescopios cada vez más grandes en órbita, pero el coste de este programa, llevado a sus últimas consecuencias, no es asumible por ningún país, ni tan siquiera por grandes consorcios estatales. El precio de poner una carga útil en el espacio aumenta exponencialmente con su peso. Sin embargo este desiderátum astronómico es uno de los motores más activos del desarrollo tecnológico y una fuente de riqueza para el país que lidere o participe en esta empresa. Óptica, mecánica, electrónica, informática, criogenia, aeronáutica y un largo etcétera de materias necesitan llevarse a la frontera del conocimiento para aportar soluciones que permitan alcanzar los objetivos propuestos sin llevar a la sociedad a la bancarrota. Numerosas técnicas y herramientas de uso común se han diseñado primeramente para volar en un cohete espacial y, por citar un ejemplo, las



4



5

FIGURA 4 El cronómetro marino H-4 de Harrison. (Greenwich Royal Observatory) **FIGURA 5** Primera página de la bula del papa Gregorio XIII en la que se promulga la reforma del calendario que lleva su nombre. (ECHO/MPG)

técnicas médicas de diagnóstico por la imagen se asientan sobre los códigos de reducción de imágenes astronómicas. En los últimos treinta años la astronomía española ha pasado de ser una pura anécdota, con escasos centros escasamente financiados que proporcionaban un servicio básico a la sociedad, como la hora oficial, la confección de mapas, la publicación del almanaque náutico, etc., a formar parte del selecto club de países

con mayor producción (el octavo) y mayor impacto mundial (el décimo) en astronomía. Este rápido desarrollo vino propiciado por la instalación en España de dos grandes observatorios internacionales, Roque de los Muchachos en las Islas Canarias y Calar Alto en Almería, la creación de dos institutos astronómicos, IAC e IAA, encargados de su explotación, y una política científica diseñada y desarrollada por gobiernos democráticos que si no era completamente satisfactoria al menos no era perniciosa. El diseño y construcción de GTC (Gran Telescopio CANARIAS) en el Roque de los Muchachos, la entrada de España en el consorcio del Observatorio Europeo Austral (ESO por sus siglas inglesas), la firma de un convenio hispano-alemán para repartir la propiedad y la gestión del observatorio de Calar Alto entre ambos países, y la propia creación de la RIA (Red de Infraestructuras Astronómicas españolas) con el ánimo de coordinar la inversión española en este tipo de infraestructuras, son claros ejemplos de una forma de actuar que nos ha llevado a la situación que gozábamos hasta hace unos pocos años y que ha dado lugar a un pequeño pero prometedor parque empresarial de alto contenido tecnológico muy bien colocado para abordar mayores empresas. Sin embargo, la política que se está llevando a cabo actualmente con las instalaciones telescópicas de participación española es, cuando menos, errática. Hemos sufrido un largo suspense para conocer si seríamos parte del consorcio que construirá y explotará el E-ELT (siglas inglesas del Telescopio Europeo Extremadamente Grande), la financiación requerida para mantener al GTC en funcionamiento y con el desarrollo instrumental previsto sufre continuos sobresaltos, y del Observatorio de Calar Alto estamos próximos a decir aquello de «entre todos lo mataron y él solo se murió.» Parece que cuando algo funciona bien en España es el momento de hundirlo y volver a empezar. Y lo peor es que este sinsentido, este tormento de Sísifo, no está fundado en nin-

gún argumento científico o económico salvo el simplista *mantra* de «no tenemos dinero y hay que recortar.» No sé a qué dioses hemos ofendido. La inversión en instrumentación astronómica, sea terrestre o espacial, genera una ganancia positiva en al menos cuatro aspectos bien diferenciados: una ganancia científica con el acceso a tiempo de observación con instrumentación singular capaz de producir ciencia de vanguardia; una ganancia económica con la contratación de empresas españolas de alta tecnología y sus accesorias; una ganancia industrial basada en el desarrollo de nuevas técnicas y patentes de aplicación directa a la sociedad y su tejido empresarial y, por último, una ganancia política, más intangible pero no menos cierta que las anteriores, que tiene algo que ver con la valoración de nuestro país por la comunidad internacional y su peso específico en los centros de toma de decisiones. En las últimas décadas, España ha trabajado para ser el Observatorio de Europa, ha instalado nuevos telescopios, diseñado y construido una sofisticada instrumentación astronómica y generado un plantel

La astronomía nos ha dejado numerosos ejemplos de su papel como motor intelectual, económico y político de la sociedad

de astrónomos altamente cualificados que están haciendo astronomía de vanguardia, y este trabajo ha revertido en la sociedad española a través de los cuatro aspectos mencionados anteriormente.

LA ÚLTIMA FRONTERA

El conocimiento astronómico, la teoría de la evolución estelar, pone una cota superior al tiempo de vida de nuestro planeta; como máximo le quedan unos cinco mil millones de años. En ese momento el Sol agotará el hidrógeno central y comenzará a quemar helio, dando lugar a una inestabilidad interna que producirá

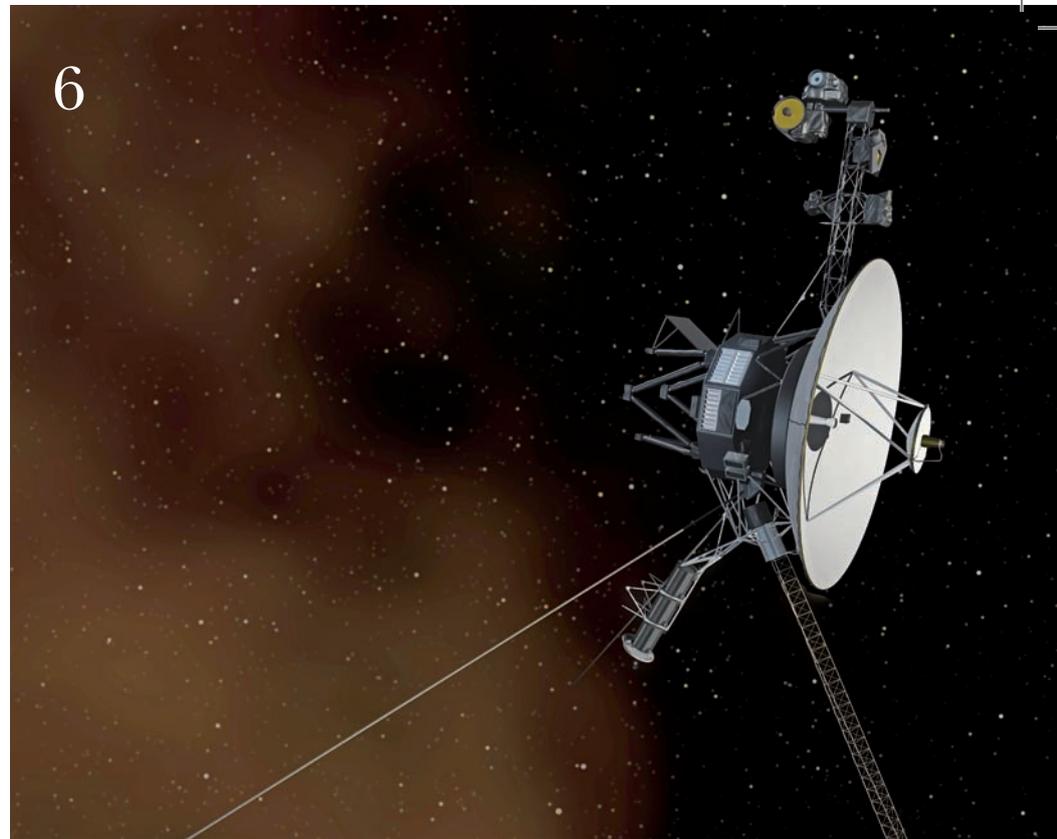


FIGURA 6 Impresión artística de la sonda Voyager 1 en el espacio interestelar. (NASA/JPL-Caltech)

una disminución de la temperatura en la superficie de la estrella y un aumento considerable de su radio, que llegará hasta más allá de la órbita de Marte. La Tierra será una pavesa devorada por un gran incendio y el Sol será una gigante roja. Desconozco si en ese tiempo la especie humana ha-

brá desaparecido del planeta, o si nuestra civilización habrá perecido enterrada en basura, o si esa hecatombe dará lugar al nacimiento de otra civilización con una mayor responsabilidad ética y el conocimiento suficiente como para ofrecer a sus ciudadanos una vida plena y pacífica en la Tierra. No puedo ni quiero adivinar el futuro ni tan siquiera hacer ciencia-ficción. Existen innumerables obras literarias donde se plantea el fin del mundo y la necesidad de salir huyendo para encontrar refugio en otros planetas, estén o no previamente habitados. El autor de una de estas obras recibió el premio Nobel de Literatura en 1974. Harry Martinson escribió en 1956 un poema épico en 103 cantos donde relata el viaje desesperado de un grupo de seres humanos hacia Marte. En este caso la Tierra había quedado inhabitable por una guerra nu-

clear y Aniara, la nave, vaga sin rumbo por el espacio interplanetario en una clara metáfora de la propia humanidad. Martinson era sueco y acabó suicidándose, pero hasta un alegre y confiado latino se da cuenta de la necesidad de tener un plan. Dos son los objetivos primarios de un programa básico de supervivencia: la búsqueda de un hábitat en el cosmos y la manera de llegar a él con el número suficiente de individuos como para asegurar la perpetuación de la especie.

La existencia de planetas que orbitan otros soles no fue definitivamente establecida hasta 1995. Así dio comienzo una frenética carrera en busca de planetas en otros soles que casi veinte años después ha producido un catálogo con unos dos mil objetos. Existen varios métodos de búsqueda de exoplanetas, pero casi todos ellos están sesgados hacia la detección de gigantes gaseosos similares a Júpiter. Hoy en día, los datos obtenidos nos hacen pensar que la mayoría de las estrellas han poseído en algún momento un sistema planetario y que una gran proporción de ellos ha sobrevivido hasta el presente.

No resulta difícil pensar que, puestos a mudarnos de casa, queramos

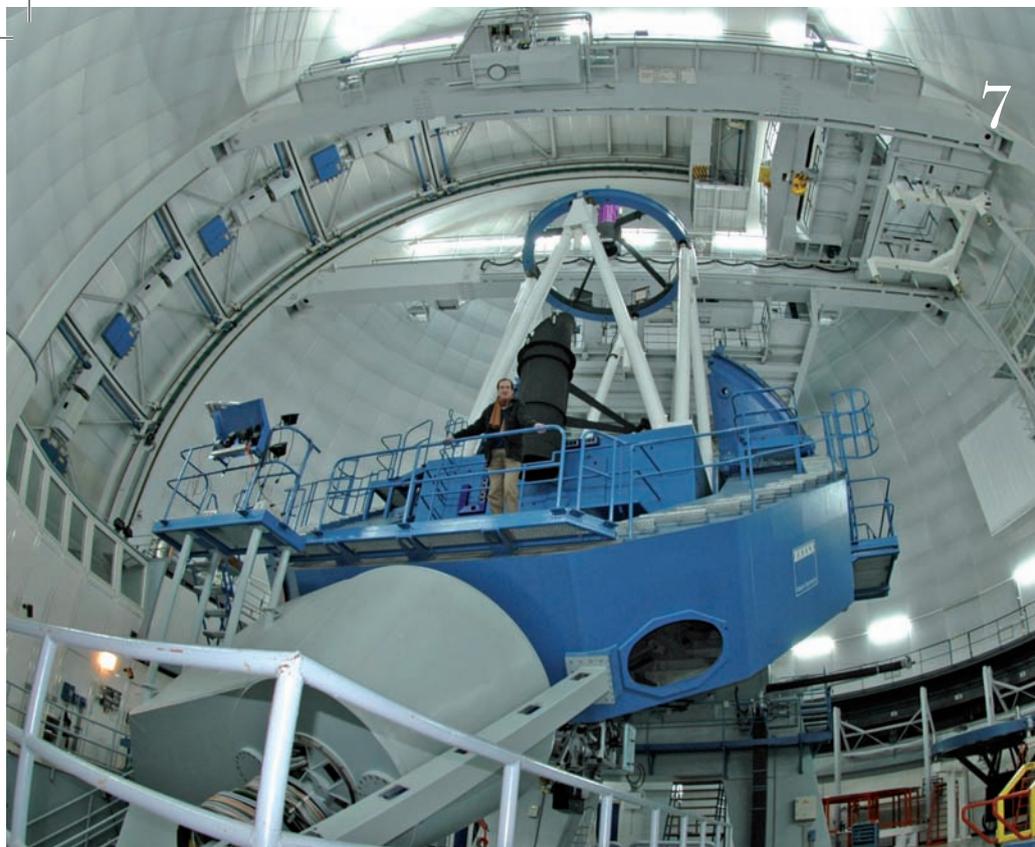


FIGURA 7 El telescopio de 3,5 m del Observatorio de Calar Alto, en Almería. (Cortesía David Montes)

que la nueva se parezca a la de nuestra infancia, que busquemos un paisaje similar al que conocemos. La diana es un planeta rocoso con agua líquida en la superficie, una órbita poco excéntrica que no genere grandes variaciones de temperatura a lo largo del año, una atmósfera con el oxígeno suficiente y suficientemente diluido para que podamos respirar sin entrar en combustión y, a ser posible, una luna que ayude a estabilizar la dinámica del sistema. Hay exoplanetas, muy pocos, que presentan alguna de estas características, pero no hemos encontrado todavía la Tierra Prometida. Ese es el gran objetivo de la astronomía planetaria para la próxima década y el IAA no es ajeno a este programa de investigación. La caracterización de la atmósfera terrestre y la búsqueda de huellas de nuestra atmósfera en los espectros de exoplanetas resumen los objetivos específicos de nuestra participación en esta aventura. El espectrógrafo CARMENES se ha diseñado con este fin y el telescopio de 3,5 m en el Observatorio de Calar Alto es el colector ideal para su instalación, esta combinación representa un hito tecnológico único (o, al menos, será único por unos cuantos años) para la

consecución de estos objetivos, y el éxito del proyecto está asegurado si la incompetencia de algunos gestores y la desidia de todos no lo manda al traste.

¿Cómo llegar hasta el planeta soñado? El 13 de septiembre de 2013, la NASA informó de que la nave *Voyager 1* se encontraba a 19 000 millones de km del Sol, unas seis veces la órbita de Neptuno. Ya ha dejado atrás la heliosfera y se ha sumergido en el espacio interestelar y es el objeto creado por el hombre que más se ha alejado de la Tierra. Su velocidad actual es de 17 km/s, superior a la velocidad de escape del Sistema Solar, lo que indica que ya no volverá a las regiones internas de nuestro sistema planetario. La estrella más cercana al Sol se encuentra situada a 4,3 años luz, forma parte de un sistema triple una de cuyas componentes tiene, al menos, un planeta en órbita. Si suponemos que este planeta cumple las condiciones requeridas para ser nuestro nuevo hogar (el hecho de pertenecer a un sistema triple lo podría invalidar), tardaríamos unos 75 000 años en llegar a él con la velocidad de la nave *Voyager 1*. Resulta evidente que los actuales sistemas de propulsión no proporcionan una solu-

ción válida al problema de los viajes interestelares. Los veleros espaciales impulsados por el viento solar parecen ser la mejor propuesta para movernos por el sistema planetario, pero cómo saltar del Sistema Solar a otras estrellas es el gran reto y varias agencias espaciales ya tienen programas de investigación activos para intentar dar a este problema una respuesta viable que permita diseminar la especie humana por el Universo y salvarla de su desaparición.

CONCLUSIÓN

La historia de la astronomía nos ha dejado numerosos ejemplos de su papel como motor intelectual, económico y político de la sociedad. Los cielos han sido siempre la última frontera del hombre y su contemplación, estudio y conquista es consustancial a la naturaleza humana. En casi todas las provincias españolas hay al menos una sociedad astronómica no profesional que, con ilusión y trabajo, mantiene la llama sagrada. En España, el desarrollo de la astronomía ha estado lleno de sobresaltos y ha alternado épocas de esplendor con otras de decadencia asociadas a la propia historia de la nación. Hasta ahora hemos vivido uno de los periodos más fértiles de la ciencia española, donde la astronomía ha brillado con luz propia. Hay que seguir trabajando para que la llama no se apague y nuestra ciencia siga liderando el desarrollo científico del país.

Quiero agradecer a Carmen Montes, Pepe Vílchez y Enrique Pérez la lectura del manuscrito y sus amigables y acertadas sugerencias. (Este artículo es una versión revisada y corregida de una conferencia impartida por el autor en el XXI Congreso Estatal de Astronomía celebrado en Granada en mayo de 2014). (A)

Emilio Alfaro Navarro es investigador en el Instituto de Astrofísica de Andalucía, CSIC. Para contactar: emilio@iaa.es.

