



LA CONQUISTA EUROPEA DEL ESPACIO

Por JAVIER VENTURA-TRAVESET

Director de la Oficina Científica de Navegación por Satélite Galileo de la Agencia Espacial Europea (ESA) y Portavoz de la ESA en España



La exploración espacial se perfila como uno de los últimos retos para los espíritus inquietos. Será nuestra próxima conquista territorial y el objetivo del hombre y de la Ciencia para ampliar horizontes y buscar nuevos recursos. La carrera espacial nos ha permitido además conocer en profundidad el planeta Tierra. En esta conferencia, que se enmarca en el ciclo del mes Geográfico organizado con la Sociedad Geográfica Española, Javier Ventura-Traveset describe los principales programas de la Agencia Espacial Europea.

La ESA es unas de las pocas agencias espaciales del mundo cuyas actividades cubre todas las facetas de la actividad espacial

Hablar de Europa y hablar del espacio es hablar de la Agencia Espacial Europea (ESA). La misión de nuestra Agencia espacial, la ESA, está bien definida en el artículo 2 de su convención fundacional, que data del año 1975: *“hacer realidad y promover la cooperación entre los países europeos en investigación, tecnología, aplicaciones y ciencia para usos exclusivamente pacíficos.”* La Agencia es una organización intergubernamental formada por 22 países; trabajamos para ella cerca de cinco mil personas, distribuidas en ocho centros en Europa y un puerto espacial, en la Guayana Francesa, desde el que se han realizado hasta la fecha unos 250 lanzamientos de la familia de cohetes Ariane.

La posición geográfica de esta instalación europea, en una latitud muy cercana al Ecuador, permite beneficiarse del efecto adicional de empuje que suministra la velocidad de rotación de la Tierra, lo que denominamos en inglés el *“slingshot effect”*, unos 1600 kilómetros por hora, en el Ecuador. Ese efecto permite, por ejemplo, que con el mismo cohete Soyuz podamos lanzar un 75% más de carga desde la Guayana Francesa que desde Baikonur, cuando posicionamos satélites en órbita geostacionaria sobre el Ecuador. Actualmente, estamos trabajando en la nueva generación de cohetes europeos: los cohetes Ariane 6 y Vega-C, cuyos primeros lanzamientos deberían tener lugar en 2020.

Ariane 6 es el sucesor de Ariane 5, desarrollado con el objetivo principal de ganar en competitividad y en flexibilidad. Hemos racionalizado, por ejemplo, la cadena de montaje

del cohete, reducido el consorcio industrial principal, implementado ventajas y mejoras tecnológicas y maximizado sinergias con VEGA-C, con el que comparte el diseño de su etapa de combustible sólido (los *boosters*). Junto con el desarrollo de estos nuevos lanzadores, una de las misiones que tenemos a corto plazo en este campo es el denominado *Space Rider*, una nave espacial reutilizable que será puesta en órbita con el cohete VEGA-C y que nos permitirá hacer experimentos de microgravedad y de tecnología en órbita baja, típicamente con duraciones de dos o tres meses.

La ESA es unas de las pocas agencias espaciales del mundo cuyas actividades cubre todas las facetas de la actividad espacial: programa científico, vuelos tripulados, cohetes-lanzadores, tecnología y un importante programa de aplicaciones con los satélites de observación de la tierra, de navegación por satélite y de telecomunicaciones.

España pertenece a la Agencia Espacial Europea desde su creación, en 1975, siendo por ello uno de los países fundadores de esta organización. Actualmente, es el quinto país en contribución económica a la Agencia. Nuestro país, a través de su industria, participa además en todos los programas de la ESA, con competencias en todas las áreas de actividad del sector espacial. El sector espacial español es el sector industrial más innovador de nuestro país, con una productividad cuatro veces superior a la media española industrial. Además, más de un 80% de su facturación proviene de sus exportaciones. Una joya industrial y científica para nuestro país que ha



costado mucho esfuerzo conseguir y que es esencial por ello preservar.

La Agencia Espacial Europea tiene en la Comunidad de Madrid uno de sus centros más importantes: el centro de ESAC, *European Space Astronomy Centre*, referencia científica de la ESA. Trabajamos en él cerca de 400 personas. Nos responsabilizamos de las operaciones científicas de todas las misiones de Astronomía y de exploración del sistema solar. Desde ESAC se planifica la observación científica de nuestros satélites de ciencia y se archivan todos los datos de nuestras misiones para su explotación científica a nivel mundial. Nos gusta decir que en ESAC tenemos la “*biblioteca del universo*”. Una función muy importante del centro es también la interacción con la comunidad científica, con el objetivo de optimizar el retorno científico de nuestras misiones espaciales.

En España también tenemos las instalaciones de una de las tres estaciones de espacio profundo de la ESA, la Estación de Cebreros,

en la provincia de Ávila. Esta estación está especialmente concebida para permitir el seguimiento de satélites fuera de la órbita terrestre, desde distancias del orden de 1,5 millones de kilómetros -donde tenemos una gran parte de nuestros telescopios astronómicos- hasta distancias de cientos de millones de kilómetros, en las misiones de exploración del sistema solar.

Europa dispone de otras dos estaciones de este tipo. Una situada en Malargüe (en la provincia de Mendoza, en Argentina) y otra en New Norcia, en Australia. Gracias a estas tres estaciones, separadas unos 120 grados de longitud entre ellas, Europa garantiza siempre el tener una de sus estaciones en comunicación con nuestros satélites, sea cual sea la posición de la Tierra en relación a ellos. Es interesante señalar que en España también disponemos de una estación de espacio profundo de la NASA, en Robledo de Chavela, a pocos kilómetros de Cebreros, lo que nos coloca como país estratégico a nivel mundial en el seguimiento satelital de misiones científicas.

Me gustaría ahora hablarles de los principales programas de la ESA, actuales y futuros, aunque sea de forma breve.

El sistema Galileo

El sistema Galileo es la contribución más importante de Europa en el campo de la navegación por satélite. Galileo es uno de nuestros triunfos europeos: el triunfo de la cooperación tecnológica en nuestro continente. Ningún país europeo hubiera sido capaz de construir un sistema de esta complejidad y coste, de forma autónoma. Requeriría demasiados recursos y capacidades tecnológicas. Galileo cuenta en la actualidad con 26 satélites en órbita, y el sistema es operacional desde diciembre del 2016. Una gran parte de nosotros utilizamos, posiblemente sin saberlo, Galileo de forma diaria en nuestros móviles para posicionarnos.

Es muy importante para Europa el disponer de su propio sistema de navegación y el tener independencia en este sector tan estratégico e importante desde un punto de vista económico. A nivel mundial hay cuatro grandes sistemas globales: el sistema GPS, el europeo Galileo, el ruso Glonass y el chino BeiDou. No es casual que todas las grandes potencias del mundo quieran tener su propio sistema e independencia en este sector. Como ejemplo, nuestros estudios indican que aproximadamente el 10% de la economía europea depende, de una forma u otra, de la disponibilidad un servicio de navegación por satélite. Si no dispusiéramos de Galileo, el 10% del PIB europeo dependería del sistema americano GPS. Esa necesidad de evitar esa dependencia, fue precisamente el gran motor en la decisión de Europa de implementar Galileo. Sin duda un gran acierto.

Se estima que actualmente hay del orden

siete mil millones de receptores de navegación por satélite en el mundo, la mayoría de ellos integrados en terminales móviles. Fíjense, en 2020, se estima que habrá más terminales de navegación por satélite que seres humanos en la Tierra. Se han identificado más de 40 mil aplicaciones diferentes en el uso de la navegación, cubriendo todos los sectores de la economía: transporte, agricultura, sector bancario, sector energético; telecomunicaciones; infraestructuras críticas; etc. El 95% de los móviles de nuestro país, por ejemplo, integran receptores de navegación por satélite, y sin estos muchas de sus funcionalidades estarían muy limitadas.

Disponer de nuestro propio sistema de navegación por satélite ha costado casi dos décadas de trabajo. Una vez operativo, una de las grandes dificultades a las que se enfrentaba Galileo era conseguir penetrar en el mercado de los móviles, ocupado hasta hace muy poco al 100% por GPS.

Pero fíjense, en tan solo 34 meses desde que iniciamos las operaciones de Galileo hemos conseguido ya que más de mil millones de móviles en el mundo procesen la señal Galileo. Actualmente, el 95% de todos los constructores de chips de navegación del mundo que se integran en aparatos móviles incluyen Galileo. Una consideración importante es que Galileo es un sistema interoperable con GPS, es decir, que se pueden utilizar de forma conjunta, lo que permite a los usuarios disponer de una disponibilidad de servicio mucho mejor que con GPS solo, sobre todo en zonas urbanas. Actualmente, además, las prestaciones de Galileo son superiores ya a GPS. Galileo transmite en abierto en múltiples frecuencias y ya existen móviles multifrecuencia en el mercado. El hecho de disponer de dos frecuencias en el móvil permite eliminar una componente importante de los errores en posición, los asociados con los retrasos de la

Más de un tercio de los satélites operacionales que orbitan nuestro planeta hoy son de observación de la tierra (con un crecimiento cercano al 250% en los últimos 4 años)



Europa es una potencia de referencia mundial en este sector

señal cuando atraviesa la capa ionosférica de la atmósfera. Con un móvil comercial bifrecuencia y gracias a Galileo obtenemos actualmente precisiones del orden de 70-80 cm. Es extraordinario.

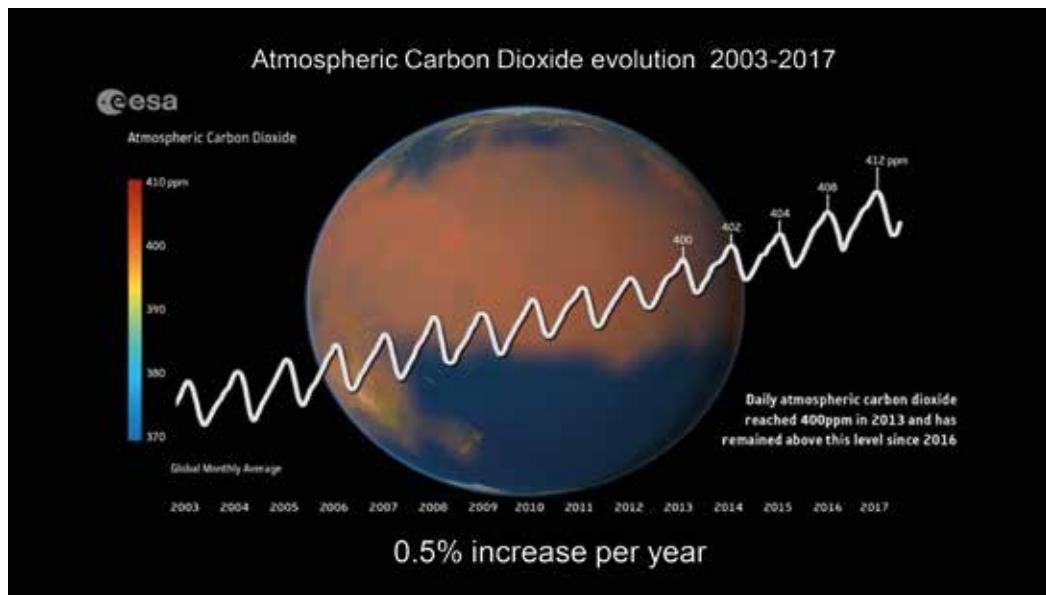
A partir del año que viene, está previsto que Galileo ofrezca un servicio, también en abierto, del orden de decímetros de precisión, de sólo 20 centímetros, sin ninguna ayuda terrestre, gracias a la información precisa de órbita y relojes que vamos a añadir en una tercera frecuencia de los satélites Galileo.

Este, sin duda, va a ser un diferenciador muy importante en Galileo y un gran facilitador de nuevos servicios. En el sector del automóvil, por ejemplo, estamos trabajando con muchas de las grandes empresas automovilísticas incorporando la navegación por satélite a las diferentes tecnologías que van a hacer posible el guiado automático de automóviles de forma comercial. Con estas precisiones tan excelentes, la utilización de Galileo en el contexto del internet de las cosas, ciudades inteligentes o en el guiado de drones es de gran interés y de gran potencial comercial para Europa también.

Observación de la Tierra

La evolución del sector espacial en el campo de la observación de nuestro planeta ha sido extraordinaria en la última década. Hace 30 años, por ejemplo, la observación de la Tierra era un programa menor dentro de las actividades de la ESA. Actualmente, en cambio, cerca del 25% de todo el presupuesto de la Agencia Espacial Europea se dedica a programas de observación de la Tierra. Fíjense, además, que más de un tercio de los satélites operacionales que orbitan nuestro planeta son hoy satélites dedicados a observar nuestro planeta, con un crecimiento cercano al 250% en los últimos cuatro años; y en ese campo, Europa cuenta con el programa de observación de la tierra más ambicioso del mundo.

Disponemos de tres grandes programas complementarios entre sí. En primer lugar, un programa dedicado a la comprensión científica de nuestro planeta, con los satélites *explorers*, estudiando aspectos concretos del funcionamiento de la Tierra como, por ejemplo, medidas precisas del geoide terrestre, estudios de su campo magnético o



estudios globales de la salinidad de los océanos, de la humedad del suelo, la comprensión del ciclo de agua, etc. El segundo gran programa de observación de la tierra europeo es el programa meteorológico, con los satélites Meteosat y MetOp, que nos permiten autonomía y excelencia en los servicios de predicción meteorológica. Por último, los satélites *Sentinels* (centinelas) del programa *Copernicus*, permiten monitorizar nuestro planeta en todas sus dimensiones, para la comprensión del cambio climático y el desarrollo de nuevas aplicaciones. Podemos tener datos globales, por ejemplo, de la concentración clorofílica; de la altura media de las olas en los océanos; de la concentración de ozono atmosférica; de la concentración de vapor de agua en la atmósfera; del índice de influencia humana en el medio ambiente; del nivel medio de los océanos, de su temperatura, medidas precisas del efecto del deshielo, etc.

Dos de los parámetros más esenciales a observar y que requieren una monitorización continua satelital son el contenido de dióxido de carbono en la atmósfera y el aumento

en la altura del nivel del mar. Con datos satelitales de los últimos 20 años estamos comprobando con alarma un crecimiento continuo del orden del 0,5% anual en la concentración de CO₂ en nuestra atmósfera.

A principios de este siglo, recuerdo que los científicos comentaban que era esencial no alcanzar nunca la cifra de 400 partes por millón de CO₂ en la atmósfera: hoy ya la hemos rebasado con creces: ya estamos por encima de las 412 partículas por millón de dióxido de carbono en nuestra atmósfera. Es un problema gravísimo, cuyas consecuencias, como todos sabemos, son el calentamiento global de nuestro planeta. El nivel de los océanos, por su parte y como consecuencia de ese calentamiento, aumenta del orden de unos 3,2 milímetros por año, de forma ininterrumpida, año tras año. Puede parecer poco, pero su efecto continuo puede ser devastador y además esa medida es la media. Hay zonas de los océanos, por ejemplo, en donde la variación es del orden de 10 milímetros por año. En 100 años, pues, el nivel del mar aumentaría en esas zonas del orden de un metro. Eso significa la posible desaparición



de islas y de ciudades costeras, afectando a millones de personas.

Nuestros satélites permiten la monitorización global del 50% de lo que se denominan variables climáticas esenciales, cuyo seguimiento se considera fundamental para tener un diagnóstico adecuado del cambio climático y de la efectividad de las posibles acciones mitigadoras, que sin duda hay que poner en marcha. Los datos de nuestros satélites europeos del programa *Copernicus* se ofrecen de forma gratuita y en abierto: más de 12 *Terabytes* de datos diarios. El objetivo final es, evidentemente, dar información clave a nuestros gobiernos y científicos sobre el estado del cambio climático, pero, a la vez, utilizando estos datos, permitir la generación

de nuevos servicios, facilitar la penetración de las energías renovables y el desarrollo de nuevas aplicaciones.

Basura espacial

Es esencial garantizar el buen funcionamiento de nuestros satélites: como hemos visto Galileo y Copernicus son servicios esenciales para Europa. Por ello es esencial luchar también contra el problema de la basura espacial que puede potencialmente utilizar nuestras infraestructuras críticas satelitales. Además, no tendría mucho sentido luchar contra el cambio climático y crear a la vez un problema de contaminación en la órbita de la tierra. El problema de la basura

Con datos satelitales de los últimos 20 años, estamos comprobando con alarma un crecimiento continuo del orden del 0,5% anual en la concentración de CO₂ en nuestra atmósfera



espacial es un problema grave al que Europa le dedica una atención prioritaria. Hablemos un poco de ello.

Desde el lanzamiento del primer satélite en 1957, se han lanzado al espacio más de nueve mil satélites; hay en órbita también etapas de cohetes abandonadas y ha habido explosiones y colisiones en órbita; se estima que ha habido del orden de unos 400 incidentes de este tipo en el espacio. Todo ello hace que haya en órbita del orden de unos 30 mil objetos de más de 10 cm; del orden de 900.000 objetos con un tamaño de entre 1 y 10 centímetros y del orden de 128 millones de objetos de un tamaño inferior a 1 centímetro. Es necesario, en primer lugar, monitorizar estos objetos para evitar colisiones en órbita y la generación de más basura.

Es esencial también, no generar más basura con las nuevas misiones y no agravar el problema. Nuestros satélites de órbita baja, por ejemplo, tienen requerimientos que obligan a que estos reentren en menos de 25 años desde que terminan su vida útil y que se queman en la atmósfera. Los satélites que

están a gran altura, por ejemplo, en las órbitas de Galileo o las órbitas geoestacionarias, lo que hacemos es recolocarlos al final de su vida útil en una órbita no operacional que denominamos "órbitas cementerio", eliminando también su combustible para evitar que puedan explotar, lo que se denomina, *pasivación*.

Pero en Europa queremos ir más allá: intentar también eliminar la basura ya existente. Una de las misiones que estamos proponiendo en la próxima reunión ministerial de países miembros de la ESA, es la misión *In-orbit servicing*. La idea es poder lanzar una serie de satélites capaces de suministrar varios servicios a satélites en órbita, como, por ejemplo, repostar con combustible a un satélite para extender su vida útil; hacer alguna reparación en órbita si es necesario; o, también y, sobre todo, tener la capacidad de desorbitar aquellos satélites pasivos que solo generan basura en órbita y pueden provocar colisiones. Europa ya tiene experiencia en tecnologías de acoplamiento en órbita (*docking*) y de reentrada gracias al desarrollo de las naves de carga, las ATV, naves de

DEFENSA PLANETARIA:

MISIONES DART (NASA) y HERA (ESA) al Sistema de asteroides binario Dydimos (780 m diámetro y 160 metros)



unas 20 toneladas de masa que después de acoplarse automáticamente a la estación se quemaban de forma controlada en la atmósfera al final de su misión. Creemos que es importante para Europa ser pioneros en estas tecnologías de limpieza en órbita, abriendo además nuevas oportunidades comerciales para nuestra industria.

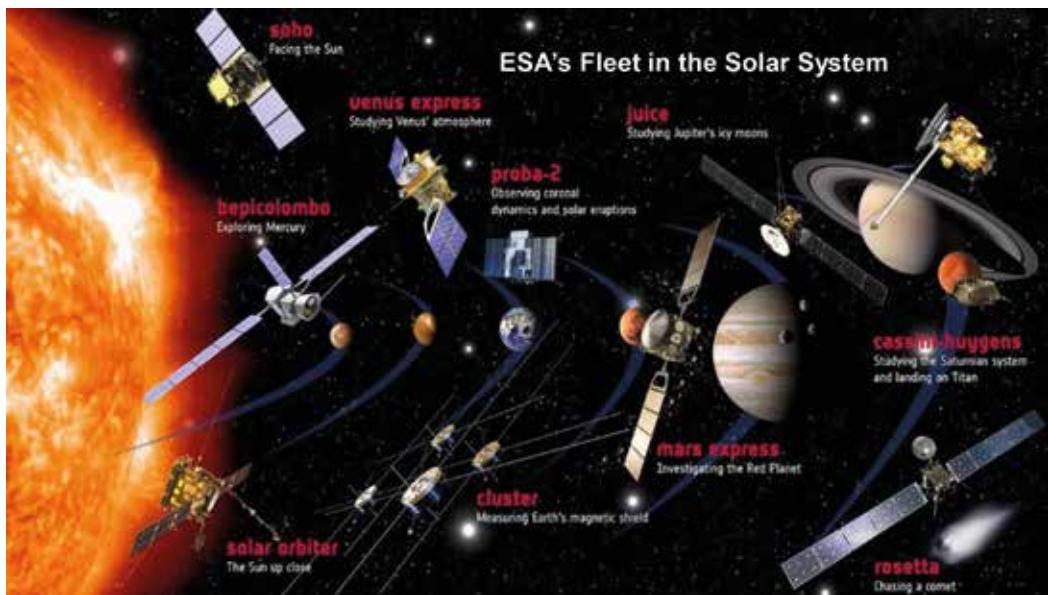
Defensa planetaria

La protección contra eventos solares extremos es también una cuestión altamente importante. El Sol, de forma periódica, emite violentas fulguraciones, eyeciones de masa solar compuesta de protones, electrones e iones

pesados que pueden interferir, si se dirigen a la tierra, con la electrónica de nuestros satélites, y con los sistemas de comunicación terrestre o redes eléctricas. Es pues esencial, también, vigilar estos eventos y poder protegernos si prevemos que pueden ocurrir. Europa propone para ello una misión dedicada con un satélite de observación solar en un punto estratégico en el espacio, el punto de *Lagrange L5* del sistema tierra-sol, que nos permita observar la actividad solar antes de que, consecuencia de su rotación, esta se dirija a la tierra.

Desde esa posición, podemos observar si se está generando una eyeción de masa coronal y detectarla a tiempo, antes de que esta se haga efectiva. La idea es combinar

Marte tuvo, hace unos 3.500 millones de años, un gran océano y una densa atmósfera. Sufrió un cambio climático, posiblemente consecuencia de la desaparición de su campo magnético



esta misión con un satélite de la NASA complementario, colocado en este caso en el punto de Lagrange L1: este satélite en L1 permitirá confirmar o no que esa eyeción se está dirigiendo hacia la Tierra. Gracias a este sistema de alarma, tendríamos más tiempo de aviso y capacidad para proteger nuestras infraestructuras. Esta es una de las misiones que estamos proponiendo para la próxima década.

En relación a la defensa planetaria, otro tema de gran interés es la defensa contra aquellos asteroides cercanos que pudieran colisionar con la tierra. El riesgo no es inmediato, pero bien sabemos que en la Tierra ya han caído asteroides, algunos de ellos recientemente, y es por ello importante empezar a desarrollar tecnologías que nos permitan ser capaces, por ejemplo, de desviar un asteroide en el futuro si fuera necesario.

Estamos trabajando con la NASA en una misión conjunta. Ellos tienen prevista una misión que se llama DART, y que se complementaría en el caso europeo con la misión HERA. Se trata de observar en detalle un sis-

tema de asteroides binario cercano a la tierra, uno de 780 metros de diámetro y otro de 150m, llamado *Didymos*. DART se estrellará al asteroide menor con el objetivo de desviarlo; la misión europea HERA, lanzada más tarde, debería ser capaz de analizar in situ el cráter generado por la misión DART y analizar con precisión cuánto hemos conseguido desviar su órbita, y de alguna forma, gracias a ello, empezar a controlar el tipo de tecnologías que podrían utilizarse en el futuro para desviar asteroides con riesgo de colisión. Una misión, si se me permite la expresión, cercana a la “ciencia ficción”.

El programa científico europeo

Europa puede presumir de tener uno de los programas científicos más ambiciosos del mundo. Disponemos de equipos científicos extraordinarios, premios nobeles recientes, y una singularidad única: la capacidad de trabajar con todas las agencias espaciales del mundo. En efecto, trabajamos con todas las potencias espaciales. Con la NASA, con la Agencia Espacial Rusa, con Japón, con la



India y, aunque con mayor complejidad, también con China.

El programa científico de la ESA tiene como objetivo ayudar a responder a una serie de preguntas esenciales a nuestra existencia: *¿Cómo se formó el Universo? ¿Cómo ha evolucionado y cómo evolucionará en el futuro? ¿Cuáles son las leyes fundamentales de la física? ¿Cómo surgió el Sistema Solar? ¿Cómo surgió la vida? ¿Puede haber vida fuera de la Tierra?* Ante estas preguntas, se trata de responder con el método científico, a través de misiones que nos permitan ganar conocimiento en estas cuestiones. De forma simplificada, podemos decir que Europa tiene organizada sus misiones en dos grandes capítulos: misiones en el Sistema Solar y misiones astronómicas.

En el estudio del Sol, Europa ha puesto en órbita ya varias misiones. En febrero de 2020 se lanzará la misión Solar Orbital, permitiendo un estudio cercano y en alta resolución del Sol y también de sus polos y la heliosfera interior. La Misión SOHO, en órbita desde el año 95, situada a 1.5 millones de km en el punto de Lagrange L1 tierra-sol, nos ha permitido un es-

tudio continuo del funcionamiento del interior del Sol. En misiones planetarias; BepiColombo, puesto en órbita en octubre del 2018, es la primera misión europea a Mercurio. Estuvimos en Venus con la misión Venus Express, misión ya finalizada y que permitió un estudio muy detallado del efecto invernadero de Venus, el primer estudio de sus polos y la identificación de actividad volcánica reciente. En la Luna hemos tenido una misión tecnológica que es la misión Smart, en el año 2003, y vamos a volver en breve con misiones de exploración como comentaremos más adelante. En la próxima década Europa va a ser una de las agencias importantes en la exploración lunar.

Marte es, quizás, el objetivo científico por excelencia en el Sistema Solar. Europa tiene en estos momentos dos misiones en órbita de Marte: Mars Express, desde el año 2003 y la misión ExoMars TGO desde el año 2016. Marte tuvo hace unos 3500 millones de años un gran océano y una densa atmósfera. Sabemos que Marte sufrió un cambio climático, posiblemente consecuencia de la desaparición de su campo magnético. Creemos por ello que Marte tuvo condiciones parecidas a las

que tuvo la Tierra cuando surgió la vida en nuestro planeta. Hemos estado también en órbita de Saturno con la NASA, con la Misión Cassini Huygens, misión extraordinaria en el estudio detallado de los anillos de Saturno y de sus lunas más importantes. En el caso de Europa, nuestra contribución se concentró en el estudio del satélite Titán; es el segundo satélite más grande del Sistema Solar, después de Ganímedes, y el único que tiene una densa atmósfera: un objetivo científico interesantísimo. Los astrobiólogos consideran que Titán tiene unas condiciones parecidas a las que tuvo la Tierra antes de que surgiera la vida en nuestro planeta: condiciones denominadas prebióticas. Y fuimos capaces de poner una sonda en la superficie de Titán, la sonda europea Huygens, el objeto realizado por el ser humano que se ha posado más lejos en un cuerpo celeste. Durante su descenso pudimos estudiar la atmósfera de Titán y estar unas horas en su superficie. Titán es un mundo líquido, un mundo con lagos de metano, y donde llueve metano: un mundo extraordinariamente interesante. En Saturno también pudimos estudiar con cierto detalle la luna Encelado, uno de los principales objetivos de la Astrobiología en nuestro sistema Solar, como veremos más adelante.

El estudio de cometas ha sido también un área científica prioritaria para Europa, en primer lugar, estudiamos el cometa Halley con la misión *Giotto* a finales de los años 80 y ciertamente, y de forma muy destacada, la misión *Rosetta* al cometa *Churyumov-Gerasimenko-67P*, posiblemente la misión más extraordinaria que ha realizado la Agencia Espacial Europea hasta la fecha: ponernos en órbita de un cometa, acompañarlo durante todo su movimiento orbital a través del sistema solar y ser capaces de posar una sonda en su superficie, la sonda *Philae*. Esta sonda, *Philae*, nos permitió analizar muestras *in situ*, algo nunca hecho hasta ese momento.

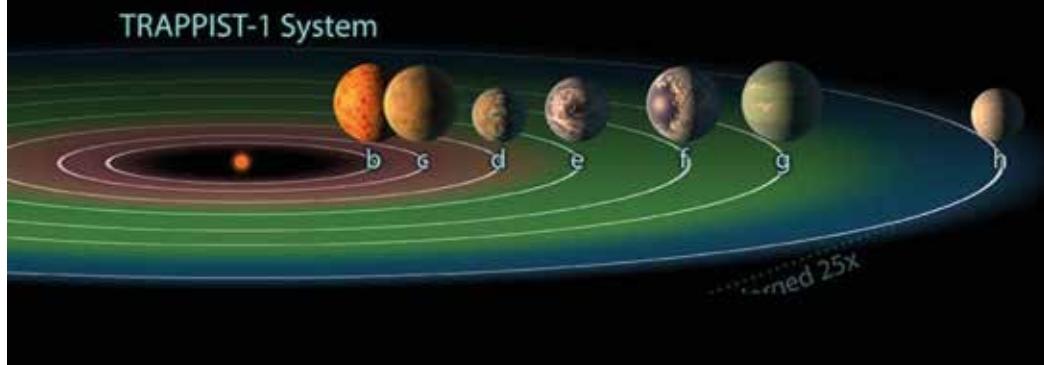
Hemos estado más de dos años en la órbita de este cometa y nuestro aprendizaje y volumen de datos son excepcionales.

La próxima década

Creo, sin duda, que es una época preciosa de la ciencia espacial y que la próxima década será apasionante. En los últimos años, el estudio del espacio y del universo ha sido objeto de múltiples Premios Nobel. La detección de ondas gravitacionales, Premio Nobel a los constructores del LIGO en el año 2017, ha revolucionado la Astronomía para siempre con los detectores terrestres LIGO en Hanford y Livingston y el detector VIRGO en Italia; en breve se incorporará un cuarto detector terrestre en Japón, el detector KAGRA. Estos detectores nos permiten la detección de ondas gravitacionales, oscilaciones del espacio-tiempo predichas por Einstein y hoy visibles como consecuencia de ciertos fenómenos astronómicos. Esto permite una observación completamente diferente a la observación que hacemos en ondas electromagnéticas; nos gusta decir que de alguna forma estamos añadiendo sonido a la película de nuestro Universo, observada hasta ahora solo en “imágenes” en ondas electromagnéticas.

La primera detección de ondas gravitacionales, una detección histórica, tuvo lugar el 14 de septiembre de 2015, hace solo cuatro años. Ese día, la Astronomía tal como la concebíamos hasta entonces, cambió para siempre. Desde entonces ha habido ya varias decenas de detecciones. Hay una detección especialmente interesante y es la que tuvo lugar en agosto del 2017. Hasta esa fecha todas las detecciones que se habían obtenido estaban asociadas a la fusión de agujeros negros. Se esperaba con atención la posible detección de ondas gravitacionales asociadas a

**Alrededor de 4.000 Exoplanetas
confirmados hasta hoy en un total de
3.000 sistemas planetarios diferentes**



la fusión entre dos estrellas de neutrones y eso pasó el 17 de agosto de 2017; sabíamos que esta fusión debería generar ondas gravitacionales y que estas deberían ser observables en algún momento. El 17 de agosto del 2017 observamos las ondas gravitacionales asociadas a la fusión de dos estrellas de neutrones. El alcance y la magnitud de este hecho no tiene precedentes, habiéndose convertido, muy probablemente, en el evento astronómico más estudiado en la historia de la humanidad. Esta observación permite realizar lo que denominamos una observación multimensajero, simultáneamente en ondas gravitacionales y ondas electromagnéticas, visualizando de forma complementaria el mismo fenómeno astronómico. Esta única observación ha permitido una serie de descubrimientos extraordinarios. Hemos confirmado, como preveíamos, que la fusión de estrellas de neutrones genera emisiones de rayos Gamma – *Gamma Ray Bursts*; hemos sido capaces de medir la constante de Hubble de una forma independiente a las medidas que se tenían hasta la fecha, lo que abre enormes posibilidades cuando tengamos mayores estadísticas de observación; y, observando las

ondas electromagnéticas asociadas a este evento, gracias a la espectrometría remota, hemos podido confirmar que los elementos más pesados de la tabla periódica, como el oro, el platino o el uranio, se generan a través de fusiones de estrellas de neutrones. Y todo ello en una sola observación astronómica.

En el momento en que se confirmó la detección de ondas gravitacionales, la Agencia tenía en órbita una misión que se llama LISA Pathfinder.

Esta misión es una misión tecnológica con el objetivo de probar tecnologías que nos permitan en el futuro detectar ondas gravitacionales desde el espacio. Las que somos capaces de observar desde la Tierra son ondas de alta frecuencia y es muy interesante poder observar en el futuro también ondas gravitacionales de baja frecuencia, y eso podríamos hacerlo con la tecnología que hemos demostrado con la misión LISA Pathfinder. Por ejemplo, cuando se fusionan dos agujeros negros supermasivos de dos galaxias, las ondas gravitacionales que ese fenómeno genera no se pueden observar con los detec-

Resulta esencial luchar contra el problema de la basura espacial que puede potencialmente inutilizar nuestras infraestructuras críticas satelitales

tores terrestres; sin embargo, desde el espacio, esta detección debería ser ahora posible. Esa tecnología la hemos ya confirmado, una tecnología extraordinaria, basada en la interferometría láser. El objetivo es extrapolar esta misión a gran escala y esto es lo que vamos a hacer, una misión ya confirmada que se llama LISA, que se debería poner en órbita en 2034 y en la que los científicos tienen un enorme interés: las posibilidades científicas de esta misión son únicas. La observación de ondas gravitacionales en baja frecuencia es un complemento extraordinario a la observación desde la tierra. Yo estoy convencido que vamos a descubrir fenómenos nuevos que no esperamos, que no sabíamos ni que existían y que se expresan solamente en ondas gravitacionales. La historia de la Ciencia nos ha demostrado que cada vez que se observa el Universo con una nueva tecnología, se hacen descubrimientos nuevos.

El segundo gran capítulo de la observación científica en estos momentos es, sin duda, el avanzar en el conocimiento de la composición de nuestro Universo. La teoría que tenemos sobre el origen de nuestro Universo y que todas nuestras observaciones confirman es la teoría del *"Big Bang"*. Un estallido e inflación instantáneo de un Universo embrionario con unos 13,800 millones de años de historia. Gracias al satélite europeo Planck hemos sido capaces de medir, con enorme precisión, la radiación de fondo cósmico de nuestro Universo, que surge en el momento en que el Universo se enfriaba lo suficiente como para emitir la primera radiación electromagnética, eso es unos 380 mil años después del *"Big*

Bang". Esa radiación la hemos medido con una precisión única gracias al satélite de la Agencia Espacial Europea Planck, una joya tecnológica. Planck ha permitido afinar nuestro conocimiento sobre la edad, la expansión, la historia y las proporciones relativas de los ingredientes que componen el Universo.

Hoy por hoy, gracias a Planck, sabemos que toda la materia ordinaria que conocemos, materia bariónica, es menos del 5% de todo lo que existe. Todos los planetas, todas las estrellas, todos los elementos de la tabla periódica que conocemos, conforman menos del 5% de todo lo que existe. Sabemos que un 25% de nuestro Universo se expresa con propiedades gravitatorias pero que no emite luz y un 70% es una fuente de energía no conocida, responsable de la aceleración en la expansión del Universo. Juntos conforman el 95% de ese Universo oscuro que desconocemos. La existencia de la energía y materia oscura no se pueden explicar con nuestro conocimiento actual de la física fundamental y por ello su estudio es esencial. Y a todo esto dedicamos una serie importante de misiones en la próxima década; en un momento precioso para los astrónomos. Tenemos *Gaia* ya en órbita; vamos a lanzar *Euclid* en 2022, dedicada especialmente al estudio de la materia y la energía oscura; el *James Webb Space Telescope*, el sucesor del *Hubble*, que se debería lanzar en el 2021; que, junto con los colisionadores de hadrones del CERN, conforman una cuadrilla única en la observación de nuestro Universo oscuro. Prepárense para ver varios nuevos premios nobeles gracias a las investigaciones que podrán hacerse gracias a esas misiones.

Próximo destino: la órbita lunar



Búsqueda de vida extraterrestre

Y el tercer gran capítulo de la ciencia espacial de la próxima década es la búsqueda de vida, de actividad biológica, fuera de la Tierra. Esta es la gran pregunta y yo creo que en una década o poco más es posible que podamos tener una primera respuesta. Es apasionante. Tres son las pistas en las que estamos trabajando actualmente, las pistas de Marte; de las lunas heladas de Júpiter y de Saturno, Europa y Encelado, respectivamente; y ciertamente el estudio detallado de los exoplanetas.

En Marte, tenemos evidencias científicas de gran interés: sabemos que tuvo un gran océano, que tuvo una atmósfera densa, un campo magnético y que tuvo por ello, durante cientos de millones de años, todos los requisitos que fueron suficientes en la Tierra para generar vida. ¿Pudo surgir esa vida? ¿Qué ha pasado con esa vida? Recientemente, hemos descubierto, por ejemplo, agua líquida en el Polo Sur de Marte gracias a las observaciones con el instrumento MERIS del satélite europeo Mars Express.

El objetivo actual es ver si hay restos de esa vida primigenia o si esa vida ha podido protegerse en el interior de Marte, protegido de la radiación ultravioleta. Para ello, el año que viene vamos a lanzar la Misión *ExoMars 2020*. La ventana actual de lanzamiento es entre julio y agosto del 2020 y va a ser la primera vez en la historia de la investigación científica de Marte que vamos a penetrar en su interior, hasta dos metros de profundidad, en esas zonas que son astrobiológicamente interesantes, a la búsqueda de lo que denominamos *biomarcadores*. Dada su posición relativa con la tierra, Marte tiene una serie de ventanas posibles de lanzamiento de misiones, cada dos años aproximadamente; por eso es importante no retrasarnos y que podamos lanzar en 2020. De lo contrario el retraso necesario sería de 2 años.

En el sistema solar, la otra pista interesante en la búsqueda de vida es en relación a las lunas heladas, estas lunas que creemos firmemente que tienen océanos en su interior. En el caso de Encélado, por ejemplo, hemos sido capaces de analizar la composición de los géiseres o penachos que emite en su polo sur. Tanto Encélado como Europa tienen océanos



interiores y, desde un punto de vista astrobiológico, tienen todos los ingredientes necesarios para poder albergar vida.

En el caso de Encélado sabemos, por ejemplo, gracias al análisis espectrométrico de la misión Cassini, que los géiseres que emite en su Polo Sur, contienen hidrógeno molecular, dióxido de carbono y metano. Sabemos que hay un océano líquido y nuestros modelos planetarios nos indican que debe tener un núcleo caliente. Así pues, de alguna forma, contiene todos los ingredientes necesarios para la vida: materia orgánica, agua líquida y energía; las tres cosas que hacen falta para tener vida en la Tierra. En las zonas profundas de nuestros océanos, en las denominadas zonas abisales, es posible la existencia de vida sin la energía del Sol. Y precisamente, se genera metano, con hidrógeno y dióxido de carbono como alimento de una serie de bacterias, a través de un proceso que se denomina metanogénesis; y justamente esos son los componentes que estamos observando en los penachos de Encélado.

En ese sentido, es de gran interés la misión

JUICE, que se va a lanzar en 2022, que va a analizar las lunas heladas de Júpiter: Europa, Ganímedes y Calisto. Europa, como Encélado, es una de esas lunas con gran interés astrobiológico. Juice se pondrá en órbita en 2022 pero no llegará hasta siete años más tarde, 2029, y a partir de ahí desarrollaremos la misión durante varios meses.

La tercera gran pista actual en la búsqueda de vida es el análisis detallado de exoplanetas. Al hablar de este tema, sin duda, hay que referirse a los premios nobeles Michel Mayor y Didier Queloz, quienes junto con James Peebles, son los tres premios nobeles de Física de este año. Tuvimos la oportunidad de conocer a Michel Mayor en la Agencia Espacial Europea hace ahora una semana, justo después de que le dieran el Premio Nobel. Es una persona extraordinaria, si me permiten, la humildad en la excelencia. Michel Mayor y Didier Queloz detectaron el primer planeta extrasolar, el denominado 51 Pegaso B, en el año 1995, y es por ello esencialmente que se les ha reconocido con el Premio Nobel. Desde entonces se han detectado más de 4.000 exoplanetas, en 3.000 sistemas planetarios diferentes.

Europa tiene una serie importante de misiones dedicadas a esta temática. Empezamos este mismo año con el lanzamiento en diciembre de la misión *Cheops*, una misión con una gran contribución de la industria española y que permitirá deducir la densidad de muchos exoplanetas conocidos gracias a la determinación precisa de su diámetro. Tenemos también prevista la misión *PLATO*, que se va a lanzar en 2026, el *James Webb Space Telescope*, en 2021 y la Misión *ARIEL*, en 2028, que permitiría, junto con James Webb, el análisis espectral de atmósferas exoplanetarias. Una de las pistas más interesantes en la búsqueda de vida en exoplanetas, es buscar aquellos planetas que puedan estar en lo que denominamos zona de la habitabilidad, es decir, que puedan albergar agua líquida; y analizar si estos planetas tienen atmósfera y, si la tienen, qué componentes contiene. En el caso de la Tierra, por ejemplo, si uno analiza su atmósfera en el espectro en la banda del infrarrojo se observa la presencia de biomarcadores como el ozono, como el dióxido de carbono, el vapor de agua o el metano, restos evidentes de la vida en nuestro planeta. Si encontráramos esos componentes en una atmósfera exoplanetaria, podría ser una prueba indirecta de actividad biológica. Los astrobiólogos están convencidos de que en 10 o 15 años, con la tecnología que vamos a tener a disposición, y si la vida es una evolución inevitable del Universo, deberíamos ser capaces de detectarla en un exoplaneta cercano, gracias al análisis de su atmósfera. Es realmente emocionante que podamos plantearnos responder a una pregunta así, que podamos responder gracias a la Ciencia que, en efecto, la vida es común y no una excepción anómala de nuestro planeta.

Misiones de exploración humana

También es una década maravillosa para la exploración humana y robótica y coincide jus-

tamente en el momento en que celebramos el 50 aniversario de la misión Apolo XI. Europa continúa trabajando en la Estación Espacial Internacional y va a trabajar en breve en las nuevas misiones de exploración lunar y misiones robóticas a Marte. Europa es actualmente un socio importante de la Estación Espacial Internacional, que tiene ya más de 20 años en órbita, desde su inicio en el año 98 y con tripulación permanente desde el año 2000. Un tercio de los módulos presurizados de la ISS, los ha hecho la industria espacial europea, entre ellos el laboratorio de la ESA Columbus. La tripulación actual consiste en seis astronautas, de los cuales son: tres estadounidenses, dos rusos y uno europeo, Luca Parmitano de la Agencia Espacial Europea, que es ahora, además, comandante de la Estación Espacial desde este mes de octubre. Luca es el tercer comandante europeo de la ISS.

Nuestro próximo destino es la órbita lunar. Hay que darse cuenta que desde la misión Apolo 17, que tuvo lugar en 1972, ningún ser humano ha abandonado la órbita terrestre. Hasta la fecha ha habido un total de unos 550 astronautas y, de ellos, sólo 24 han estado fuera de la órbita terrestre, el resto ha estado bastante cerca, a unos 400 kilómetros, en órbita baja. En el año 2021, vamos a lanzar la primera de estas naves que nos van a permitir el regreso a la luna, la nave Orion.

Son naves que consisten en dos módulos principales, un módulo de servicio y un módulo presurizado para la tripulación. El módulo de servicio es un módulo que se construye en Europa, a través de contratos con la Agencia Espacial Europea. Después de esta primera misión, no tripulada, deberíamos tener la primera tripulación humana de vuelta en órbita lunar. El plan actual es que para 2024 tengamos ya la primera tripulación en la superficie lunar, en el polo sur de nuestro satélite. La concepción actual es construir



"Hemos recorrido todo este camino para explorar la luna, y lo más importante que hemos descubierto es nuestro planeta Tierra"

una estación orbital internacional lunar, la estación Gateway con la contribución de la NASA, la Agencia Espacial Europea, la Agencia Espacial Canadiense, la Agencia Espacial Rusa y la Agencia Espacial Japonesa.

Estamos en estos momentos definiendo con la NASA cómo vamos a contribuir. Ha habido un cambio de prioridades con la decisión del presidente de los Estados Unidos de acelerar el retorno humano a 2024, y eso está obligando a una serie de cambios en la estrategia inicial que preveía hacerlo en 2028. Las naves Orion, lanzadas por el cohete *Space Launch System* (SLS) se acoplarían a una primera versión mínima de estación Gateway y desde ahí habría un módulo de descenso lunar y de ascenso. La idea ahora no es ir y volver, sino quedarse, la idea es tener una estación permanente lunar, hacer idas y vueltas a la Luna frecuentes y desarrollar nuevas tecnologías para futuras misiones a Marte. Por ejemplo, una de las tecnologías clave es cómo superar el problema de la radiación. La radiación cósmica que hoy estimamos en una misión de ida y vuelta a Marte está por

encima de lo que está permitido legalmente en relación a los niveles de exposición al que podemos someter a un astronauta. Es necesario, pues, desarrollar nuevas tecnologías que nos permitan resolver este problema.

Hemos de aprender, también, cómo podemos utilizar los recursos lunares; si podemos utilizar, por ejemplo, el hielo, que sabemos que está presente en el Polo Sur, y generar oxígeno; si podemos generar combustible para cohetes que despeguen desde la luna desde donde es mucho más fácil despegar dada su baja gravedad con relación a la tierra; si podemos generar agua potable de forma continua; si podemos hacer crecer plantas en la luna y generar alimento; ver las posibilidades que ofrece la minería espacial, etc. Todas esas son las preguntas a las que vamos a responder gracias a estas nuevas misiones, sin duda, un generador de nuevos desarrollos tecnológicos. La minería espacial, por ejemplo, está ya en las agendas de posibles misiones futuras, quizás más a medio o largo plazo. Una parte de esta minería podría hacerse en relación a la explotación de los asteroides. Los análisis

espectrométricos de algunos asteroides revelan la posible presencia, por ejemplo, de oro, plata o platino en proporciones importantes. Hoy por hoy no es todavía económicamente viable ir a un asteroide, recoger esos minerales y traerlos a la Tierra; pero es posible que lo sea a medio plazo, si esa tecnología se va desarrollando. Países serios como Luxemburgo han desarrollado recientemente una legislación especial para que sus empresas estén protegidas jurídicamente en el caso que se dediquen a la explotación minera de asteroides.

En relación a la posibilidad de misiones tripuladas a Marte, nuestra perspectiva actual es que para 2030-2040 podría ser posible. Las misiones lunares pueden acelerar enormemente esa misión humana a Marte, que no olvidemos es el objetivo final de la exploración humana en este siglo. Pero hay que recordar que, hasta la fecha de hoy, nada de lo que ha ido a Marte ha vuelto a la tierra todavía: todo lo que ha ido a Marte se ha quedado en Marte. Es por ello, que antes de considerar una misión tripulada a Marte tiene sentido plantearse misiones robóticas de ida y vuelta. Ese es el objetivo de la misión *Mars Sample Return*, una misión cuyo objetivo es recoger muestras marcianas y traerlas a la Tierra. Lo que tiene un gran interés científico y tecnológico.

Tenemos pues una agenda extraordinaria para la próxima década, múltiples misiones de exploración apasionantes y mucho que descubrir ahí fuera, pero permítanme terminar, insistiendo en la idea de la importancia de cuidar nuestro planeta.

Y no me parece mejor forma de hacerlo, en este año de homenaje a las misiones Apolo, que terminar con la icónica imagen del *“Earthrise”* y la celebrada frase del astronauta Bill Anders del Apolo 8, *“Fuimos a explorar la Luna y descubrimos la Tierra”*. No lo olvidemos. Muchas gracias.

Bio



JAVIER VENTURA-TRAVESET

Doctor Ingeniero de Telecomunicaciones por la Universidad Politécnica de Turín (Italia), Ingeniero Superior de Telecomunicación por la *Universitat Politècnica de Catalunya* (UPC), Master en Ciencia e Ingeniería (MSE) por la Universidad de Princeton (New Jersey, EEUU) y graduado por el Programa de Alta Dirección de Empresas (PADE) del IESE.

Desde hace más de 30 años trabaja en la Agencia Espacial Europea (ESA), organización en la que ha estado inmerso en múltiples programas espaciales. Experto reconocido internacionalmente en el campo de la navegación por satélite, ha sido Ingeniero Jefe (*Principal System Engineer*), *Mission Manager* y *System Manager* en todas las fases del proyecto de Navegación EGNOS, precursor del sistema Europeo Galileo.

Ventura-Traveset es coeditor y coautor del libro *“EGNOS: the European Geostationary Navigation Overlay System, a cornerstone of Galileo”*, autor o coautor de varios capítulos de libros, de cuatro patentes y de más de 200 artículos en conferencias y revistas internacionales en el campo de la Ingeniería Espacial.

Ventura-Traveset es Académico de la Real Academia de Ingeniería de España.