

# ASTRONOMÍA

## Ética espacial

¿Se convertirán nuestros sueños en distopías?

Jorge Hernández Bernal

## Galileo y las orejas de Saturno

La importancia de la resolución en la observación astronómica

Tony Marzoa

## Descubriendo la materia oscura

Curvas de rotación en galaxias espirales e indicios de materia oscura

Francisco Soldán

## Astrobiología

Tras más de veinte años, el autor se despide de su sección

Alberto González Fairén



ESPAÑA 5,90€ / CANARIAS 6,05€  
AEROPUERTOS 6,05€





# ÉTICA ESPACIAL; ¿SE CONVERTIRÁN NUESTROS SUEÑOS EN DISTOPIÁS?

JORGE HERNÁNDEZ BERNAL

**El sueño de la exploración espacial va haciéndose realidad, y con ello afloran nuevas problemáticas. Es la hora de reflexionar sobre el futuro del espacio.**

Desde que tenía 7 años, la astronomía y todo lo relativo al espacio ha sido mi pasión. Estoy seguro, querido lector o lectora de la revista *Astronomía*, de que a ti también te apasiona lo mismo que a mí. Posiblemente también amas pasar una noche bajo las estrellas, y sueñas con surcar el cosmos con tecnologías hoy imposibles, explorar otros mundos, y recorrer un universo lleno de sorpresas que ni tú ni yo podemos imaginar.

Hace pocos años, empecé a interesarme por problemas más «terrenales», como la desigualdad, o la crisis ecológica en la Tierra. Sería fácil pensar que la exploración del espacio nos traerá nuevos recursos y tecnologías que resolverán todos los problemas de

la humanidad, pero ese sería un pensamiento inocente y alejado de la realidad. Si nuestra civilización no gestiona bien un planeta, ¿por qué iba a gestionar mejor varios planetas, o todo el Sistema Solar, o una galaxia?

En los últimos años el sector espacial ha evolucionado mucho: la Luna, Marte, y los asteroides cercanos están claramente en el punto de mira; nuevos países y empresas se unen a nuevas carreras espaciales. Pero empezamos a vislumbrar algunos efectos potencialmente negativos en todo esto: la basura espacial sigue acumulándose; las megaconstelaciones de satélites amenazan con saturar la órbita terrestre y acabar definitivamente con el cielo nocturno; y los cada vez más frecuentes lanzamientos espaciales suponen una creciente y cuestionable huella ecológica.

Como apasionado o apasionada del espacio, podrías pensar que con este artículo sobre ética espacial soy un aguafiestas. Pero seamos claros: nos jugamos mucho. Este es el momento de la historia en el que estamos sentando las bases de lo que podría ser nuestra expansión definitiva por el cosmos.

## ÉTICA ESPACIAL: UNA NUEVA ÉTICA APLICADA

Es necesaria una Ética Espacial, análoga a otras éticas aplicadas, como la bioética o la ética ambiental. Las éticas aplicadas toman importancia como respuesta a las profundas transformaciones del siglo XX. El vertiginoso cambio de las sociedades a remolque del desarrollo científico y tecnológico hacen surgir nuevos problemas éticos para los que hay que buscar respuestas: la eutanasia, la manipulación genética o el cambio climático son algunos ejemplos. En las democracias liberales eso supone alcanzar un cierto nivel de acuerdo entre diferentes sectores de la sociedad: ciudadanos de a pie, gobiernos, empresas y expertos, que pueden tener intereses y visiones muy diferentes sobre los problemas éticos.

La reflexión que promueven las éticas aplicadas puede cristalizar en muchos casos en manifiestos y en acuerdos más o menos vinculantes: códigos éticos, leyes estatales e incluso tratados internacionales en el seno de la ONU. Durante los años 60 y 70, hasta cinco tratados sobre el espacio fueron negociados. Aunque estos tratados eran bastante ambiciosos,

### IZQUIERDA. FIGURA 1.

Los viajes espaciales nos han permitido ver nuestro planeta y nuestro lugar en el cosmos de una forma muy diferente. La Tierra sobre el horizonte lunar, vista desde el *Apollo 8* en 1968. (NASA)

lo cierto es que por diversos motivos han resultado insuficientes para atajar problemas como el de la basura espacial, y son en la práctica insuficientes para regular el nuevo escenario espacial que se está abriendo. A estos tratados internacionales se les unen algunas legislaciones estatales, con los casos notables de Estados Unidos y Luxemburgo, que han movido ficha para intentar dar seguridad jurídica a las empresas interesadas en hacer minería de asteroides. Precisamente, uno de los fines de las éticas aplicadas es que la elaboración de nuevas regulaciones responda a unos principios éticos aceptables para el conjunto de la sociedad, y no a intereses particulares de empresas, estados, u otros actores específicos.

Todos tenemos una intuición de algunos problemas asociados a las actividades espaciales, y quizás el más popular de todos sea el de la basura espacial. Los aficionados y aficionadas a la astronomía conocemos bien el problema de la contaminación lumínica, y más recientemente el de las megaconstelaciones de satélites. Nuestro querido Carl Sagan fue pionero en identificar y popularizar algunos problemas de la ética espacial como el riesgo de contaminar la Luna, Marte u otros astros con microorganismos terrestres, o el deber de preservar la vida autóctona de Marte, si es que existe.

La ética espacial siempre ha estado presente, pero fue quizás al inicio del nuevo milenio, con el informe «The ethics of outer space», impulsado por la ESA y la UNESCO, cuando realmente empezó a tomar fuerza como un todo. La expansión del sector espacial en los últimos años y la popularización de ciertas ideas en

el imaginario colectivo ha impulsado aún más la reflexión ética, al menos en lengua inglesa, en la que se pueden encontrar muchos materiales sobre *space ethics*. En español, en cambio, aunque hay muchos materiales que tratan de forma aislada algunas problemáticas, no hay prácticamente nada escrito sobre «ética espacial» como un todo.

Conscientes de la importancia de popularizar y llamar la atención acerca de las problemáticas que la ética espacial analiza, un pequeño grupo de académicos y profesionales nos hemos propuesto traer a nuestro idioma este tema tan apasionante como acuciante; y este breve artículo introductorio es la primera de una serie de acciones que estamos poniendo en práctica con este fin. Este artículo está lleno de preguntas que difícilmente pueden ser resueltas con simples síes y noes, sino que nos invitan a una reflexión llena de matices.

### **¿DEBEMOS SALIR DE LA TIERRA? ¿PODEMOS HACERLO? ¿EN QUÉ MEDIDA?**

La mayoría de los aficionados a la exploración espacial solemos pensar que la expansión de la humanidad por el espacio es nuestro destino inevitable. Innumerables obras de ciencia ficción e ídolos como Carl Sagan no nos dejan lugar a dudas. Pero la verdad es que estas tres preguntas son muy pertinentes y se prestan a mucha discusión. ¿Acaso tiene la humanidad un destino predefinido? ¿Hacia qué deberíamos enfocar nuestra existencia? Son preguntas sin una respuesta única, ni mucho menos objetiva.

¿Podemos salir de la Tierra? Es obvio que algunos de noso-

tros ya han salido de la Tierra, pero ¿es viable convertir los viajes espaciales en algo común? No debemos olvidar que cada lanzamiento espacial requiere de una inmensa cantidad de energía y recursos, y, como es cada vez más evidente, nuestra civilización no es actualmente sostenible: el fin de los combustibles fósiles, el progresivo agotamiento de los recursos y una multitud de problemas ambientales interconectados a los que podemos referirnos como «crisis ecológica», implican que la alta disponibilidad de energía que hemos disfrutado en el último siglo podría tener sus días contados. ¿Podremos lograr la sostenibilidad de nuestra civilización, o sufriremos un colapso tan profundo que los viajes espaciales se convertirán en una leyenda del pasado difícil de creer? ¿Puede la exploración del espacio, a través de la minería espacial, los paneles solares en órbita y otras tecnologías, contribuir a hacer que nuestra civilización sea sostenible y la expansión espacial viable? ¿No se repetirían en el futuro crisis ecológicas análogas a la actual pero a nivel de Sistema Solar?

Como decía, las respuestas a estas preguntas no son simples síes o noes, y por ello cabe preguntarnos: ¿en qué medida? Podríamos decidir que queremos expandirnos por el espacio y encontrar la forma de hacer energética y materialmente posible esa aventura; podríamos mantener la exploración robótica del espacio pero decidir que el espacio es un medio demasiado hostil para los humanos; podríamos encontrarnos con que la expansión por el espacio no es en la práctica posible más allá del Sistema Solar; etc.



**FIGURA 2.** ¿Sería correcto establecer colonias en Marte e incluso terraformarlo? (Pat Rawlings/NASA)

**FIGURA 3.** Astronautas de diferentes nacionalidades trabajando a bordo de la Estación Espacial Internacional. (NASA)

### IMPACTO SOBRE LA VIDA EN LA TIERRA

Es indudable que la explotación del espacio nos ha traído muchos resultados positivos: las predicciones meteorológicas precisas y la capacidad de organizarnos mejor con la ayuda de las imágenes de satélite o la geo-localización son solo los ejemplos más evidentes. ¿Pero qué inconvenientes ha traído consigo la explotación del espacio?

Cada lanzamiento tiene un impacto ecológico: quema de combustibles fósiles, liberación de gases y aerosoles en capas altas de la atmósfera, liberación de gases tóxicos... Pero también hay impactos sociales, como la caída de etapas de cohetes cerca de áreas pobladas, en particular en China. Además, la basura espacial al caer a la Tierra puede llegar a causar daños, como ya ha ocurrido en algunas ocasiones. Este problema se ha puesto de manifiesto recientemente ante la posibilidad de que Rusia no dé soporte a la Estación Espacial Internacional y esta acabe cayendo de forma descontrolada sobre la Tierra.

¿Qué grado de impacto es tolerable? Esto podría depender también del tipo de misión. ¿Acaso es igual de beneficioso un satélite para el estudio del cambio climático que un vuelo turístico?

Hay quien incluso ha imaginado poder usar el cielo como panel publicitario, haciendo uso





4

**FIGURA 4.** Distribución de la basura espacial en órbita terrestre. (ESA)

**FIGURA 5.** Cada lanzamiento espacial requiere enormes cantidades de energía. ¿Podremos hacer compatible la exploración espacial con las limitaciones energéticas que supondrá dejar de usar combustibles fósiles? (NASA)

**FIGURA 6.** La icónica imagen del «pálido punto azul» tomada por la sonda *Voyager*: la fragilidad de la Tierra en el espacio. (NASA)



5

órbita cementerio es simplemente una órbita a mayor altura, desde donde los satélites irán cayendo lentamente. ¿Podría esto acabar convirtiéndose en un problema para las futuras generaciones?

En los últimos años, el abaratamiento de costes en el acceso al espacio ha dado lugar al término «democratización del espacio», es muy procedente un análisis crítico de lo que este término debería significar y el uso que se le da en la práctica, pero este breve artículo no es lugar para un análisis detallado.

de satélites especiales. El impacto estético de iniciativas como esta supondría un daño más al ya delicado estado del cielo nocturno, la tranquilidad de una noche bajo las estrellas podría verse interrumpida por la hiperestimulación de publicidad que ya sufrimos en nuestro día a día.

### LA ÓRBITA TERRESTRE

Un primer problema es la regulación del tráfico espacial, que es más compleja cuanto más congestionada está la órbita. El lanzamiento masivo de pequeños satélites y megaconstelaciones agrava el problema, más cuando inevitablemente muchos satélites pue-

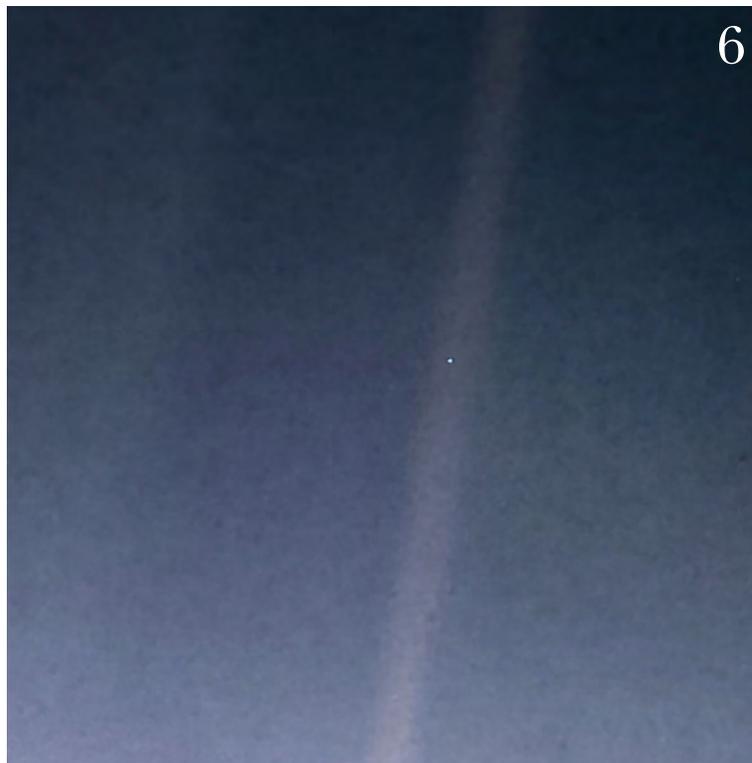
den estropearse y perderse el control sobre ellos, lo que resulta más probable en el caso de los cada vez más frecuentes satélites de bajo coste. Aumenta así el riesgo de colisiones, que producen más basura espacial, acrecentando el riesgo de colisión y dando lugar a lo que se conoce como *síndrome de Kessler*, que aparece representado en la película *Gravity*.

La órbita geoestacionaria tiene un gran interés económico y está especialmente congestionada, ¿cómo debe priorizarse el acceso a esta órbita? Además, los satélites geoestacionarios son enviados a lo que se conoce como «órbita cementerio» al final de su vida. Esta

### LA LUNA Y MARTE

Estos dos astros tienen algunas características en común que hacen que en esta introducción podamos analizarlos en conjunto: tienen una superficie rocosa que hemos podido alcanzar, y hay planes de enviar a ambos misiones de exploración tripulada e incluso construir bases permanentes.

¿Hasta qué punto deberíamos enviar humanos a estos astros? ¿Deben las actividades limitarse a expediciones científicas como las que se realizan actualmente en la Antártida, o queremos habitarlos de forma estable? ¿Hasta qué punto es admisible modificar el entorno natural? ¿Sería aceptable terraformar Marte? ¿Bastaría



con dejar algunas reservas naturales? ¿Podemos empezar a poblar y explotar estos cuerpos tan pronto como sea posible o debemos asegurarnos de haber hecho todas las investigaciones científicas posibles en primer lugar? ¿Se pueden poseer y comercializar terrenos en estos astros? ¿Qué tratamiento debería dársele a la vida microbiana marciana si existe?

En el caso de la Luna, debemos considerar su especial valor estético para la humanidad: miles de generaciones humanas han observado la Luna con fascinación y es parte de nuestras culturas. ¿Sería admisible modificar de alguna forma el aspecto de la cara visible de la Luna vista desde la Tierra? ¿Sería admisible que hubiera ciudades en la Luna cuyas luces nocturnas fueran visibles desde la Tierra en las fases creciente y menguante del ciclo lunar?

### RECURSOS ESPACIALES

El espacio está lleno de recursos. El hidrógeno que abunda en la corona solar y en los planetas gaseosos podría ser usado para obtener energía mediante fusión nuclear. Aunque con este fin sería a corto plazo tecnológicamente más sencillo extraer el helio 3 presente en la Luna. El agua es un compuesto omnipresente en el universo y en el Sistema Solar, y ya se habla muy seriamente de extraerla en la Luna y en asteroides, para consumo humano y para separarla en hidrógeno y oxígeno que pueden ser usados como combustible para motores espaciales.

Muchos de los usos que hacemos actualmente de los recursos disponibles en la Tierra implican que estos son difícilmente reciclables y por ello podrían llegar a escasear. Es el caso de los fosfatos, vitales para mantener el actual sis-

tema agroalimentario, y de una variedad de minerales críticos que se usan para la construcción de dispositivos electrónicos. Estos recursos también son abundantes en el espacio. Tanto es así que el astrofísico Neil deGrasse Tyson ha dicho: «El primer billonario será la persona que explote los recursos naturales de los asteroides». En comparación, el Producto Interior Bruto anual de España es de 1,2 billones de euros.

¿Extraeremos estos recursos? ¿Es igual de aceptable extraer recursos para su uso *in situ* que para usarlos en otro sitio e incluso comercializarlos? ¿Pueden estos recursos ser apropiados por el primero que consiga extraerlos, o debe haber algún tipo de política de redistribución de la riqueza? ¿Qué efectos puede tener sobre la economía en la Tierra y sobre los equilibrios geopolíticos la llegada de nuevos recursos actualmente escasos?

### VIDA HUMANA EN EL ESPACIO

Nuestro cuerpo no está preparado para las hostiles condiciones del espacio. La falta de gravedad causa problemas que no están bien resueltos, y más allá de la protección que en la Tierra nos brinda nuestro campo magnético, la intensa radiación es un serio problema. Además la actual vida en la Estación Espacial Internacional no es cómoda: más allá de las impresionantes vistas y la divertida capacidad de flotar en el espacio, los astronautas no pueden ducharse apropiadamente, ir al baño es muy diferente, la comida suele ser mala, y las mujeres suelen inhibir su menstruación mediante hormonas para evitar las complicaciones de sangrar en gravedad cero.



**FIGURA 7.** La cara visible de la Luna tiene un gran valor cultural para los habitantes de la Tierra. ¿Cambiaremos su aspecto a través de la minería o la edificación? ¿Deberíamos conservar este patrimonio cultural para las futuras generaciones, o renunciar a él? [Diseño del autor]

Creo que si yo viviera indefinidamente en el espacio, echaría mucho de menos la lluvia en la piel, el viento en la cara, los días nublados y soleados, el canto de los pájaros, los paseos por la naturaleza... Pero más allá de las incomodidades y el romanticismo de vivir en un oasis espacial como la Tierra, lo cierto es que la especie humana ha demostrado ser altamente adaptable y ambiciosa, y podemos imaginar un futuro en el que la vida en el espacio sea mucho más agradable que actualmente; un futuro en el que sea posible desarrollar una vida plena y digna en el espacio.

Si ese futuro llega, podrían darse algunos problemas novedosos que podemos explorar a través de la imaginación y la ciencia ficción. La serie de televisión *The Expanse* es un buen y actual ejemplo. En esta serie vemos cómo aquellos que han nacido y crecido en baja gravedad presentan algunas diferencias corporales que dan lugar a discriminaciones, vemos que una popular forma de ejecución consiste en arrojar al condenado a muerte al vacío del

espacio, y vemos el racionamiento de agua. La disponibilidad de agua es una dificultad especialmente probable si un día damos el paso de vivir en el espacio, en especial porque probablemente el agua se usaría como combustible en naves espaciales, lo que, de no regularse de alguna forma, la convertiría en un recurso económico estratégico, y al ser expelida por los motores espaciales, se perdería para siempre en el espacio, por lo que no formaría parte de un ciclo cerrado (como el actual ciclo del agua en la Tierra) y podría llegar a agotarse.

¿Harían falta unos derechos humanos actualizados a las condiciones del espacio si los viajes tripulados se convirtieran en algo común?

#### **VIDA EXTRATERRESTRE**

La vida extraterrestre es un tema fascinante, muy explorado en la ciencia ficción, y también es uno de los temas más difundidos de los que podemos considerar parte de la ética espacial.

Si un día encontramos vida fuera de la Tierra, esta podría ser mi-

croscópica, o podría parecerse más a las plantas o animales de la Tierra, o podría incluso ser inteligente. ¿Debemos darle a esa vida una consideración diferente en función de sus características y capacidades? ¿Qué consideración debemos darle? ¿Tenemos derecho a utilizarla para nuestro beneficio como hacemos con la vida terrestre a través de la pesca, la ganadería, la agricultura y otras industrias? ¿Tenemos derecho a tomar su entorno total o parcialmente por nuestro propio interés? ¿Quién hablaría en nombre de la humanidad si contactáramos con vida inteligente y cómo deberíamos organizarnos para tal contacto?

#### **UTOPIA O DISTOPÍA**

Tras una crisis económica, una pandemia, y ahora una guerra, que no hacen sino velar el auténtico problema de fondo que es la crisis ecológica, el optimismo con el que acabamos el siglo XX parece estarse disipando. Pero por lo general, los apasionados por el espacio solemos imaginar el futuro de forma bastante utópica. Ciertamente, la exploración del espacio nos ha traído grandes momentos para la paz y la esperanza en un mundo mejor: la misión *Apollo-Soyuz*, la cooperación en proyectos como la Estación Espacial Internacional, o como la misión ruso-europea TGO (*Trace Gas Orbiter*), y la ahora herida *ExoMars*. Escribo es-

### ¿QUIERES SABER MÁS?

Ven al Curso de Verano sobre Ética Espacial que la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) celebrará los días 11 y 12 de julio en el casco viejo de Bilbao, con modalidades de participación presencial u online. Diferentes expertos de la filosofía, el derecho, la ciencia y la ingeniería serán ponentes en el primer evento sobre ética espacial en español. Inscripción abierta desde el 5 de mayo en [www.uik.eus/es](http://www.uik.eus/es).

tas líneas pocas horas después de que los cosmonautas rusos de la misión Soyuz MS-21 hayan llegado a la Estación Espacial Internacional entre abrazos con sus colegas rusos y occidentales.

Pero, al mismo tiempo, empezamos a ver efectos negativos de la exploración del espacio. El cie-

lo nocturno ya no es solo sobrecojimiento ante la inmensidad, ahora estamos cambiando su aspecto. Diferentes estados y empresas desarrollan intereses particulares y tensiones de los que la opinión pública apenas es consciente. Y pese a los grandes momentos para el pacifismo, el espacio no deja de ser escenario para la propaganda y las competiciones cuestionables.

¿Utopía o distopía? Creo que la puesta en valor del pensamiento racional nos ha hecho dar grandes pasos en los aspectos más humanos de nuestras sociedades. Pero temo que una gestión irracional o inhumana de la crisis ecológica y de las oportunidades que presenta el espacio nos hagan retroceder. Frente a ese re-

troceso, definiendo la reflexión sosegada, el diálogo y la fraternidad, y por eso creo que la ética espacial es el camino en lo que se refiere al espacio. Yo no quiero que mis sueños se conviertan en una distopía, ¿y tú? (A)



**Jorge Hernández Bernal**, es investigador predoctoral del Grupo de Ciencias Planetarias de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) y de la misión europea *Mars Express*. Miembro del grupo de Ética y Derechos Humanos de la Space Generation Advisory Council.

 **CELESTRON**<sup>®</sup>

[www.celestron.es](http://www.celestron.es)



NexStar<sup>®</sup> SE

Descubre todas las especificaciones en nuestra página web [www.celestron.es](http://www.celestron.es)

