



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN
SEMINARIO UNIVERSITARIO DE GOBERNABILIDAD Y FISCALIZACIÓN



CUADERNOS DE GOBERNABILIDAD Y FISCALIZACIÓN

CUADERNO NÚMERO 68

GOBERNABILIDAD EN EL ESPACIO

Alejandro Farah Simón



CIUDAD UNIVERSITARIA

México

Junio de 2026



DIRECTORIO

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas
Rector

Dra. Patricia Dávila Aranda
Secretaria General

Mtro. Tomás Humberto Rubio Pérez
Secretario Administrativo

Dr. Manuel Palma Rangel
Secretario de Prevención, Atención
y Seguridad Universitaria

Lic. Mauricio López Velázquez
Director General
de Comunicación Social

Seminario Universitario de
Gobernabilidad y Fiscalización

Dr. Alfredo Adam Adam
Coordinador

Mtra. Cristina Barajas Rocha
Secretaria Técnica

Ing. Felipe Jesús Sacre Gaviño
Secretario Académico

Lic. María Teresa Martín B.
Secretaria Administrativa

Consejo Directivo

Dr. Armando Tomé González
Director de la Facultad de Contaduría
y Administración

Dra. Diana Tamara Martínez Ruiz
Secretaria de Desarrollo Institucional

Dr. Hugo Alejandro Concha Cantú
Abogado General

Lic. Enrique Azuara Olascoaga
Contralor de la UNAM

Comité Consultivo

Dr. Juan Alberto Adam Siade
Dr. Rolando Cordera Campos
Mtro. Roberto Figueroa Martínez

Lic. Jesús Hernández Torres
Mtro. Sergio Huacuja Betancourt

Dra. Arcelia Quintana Adriano

Mtro. Roberto Salcedo Aquino

Lic. Norma Samaniego Breach

Dra. Nadima Simón Domínguez

C. P. Héctor Vargas Icaza

Dr. David Vega Vera

Dr. David Villanueva Lomelí

Mtro. Francisco Suárez Dávila

Mtro. Tomás Humberto Rubio Pérez



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN
SEMINARIO UNIVERSITARIO DE GOBERNABILIDAD Y FISCALIZACIÓN



CUADERNOS DE GOBERNABILIDAD Y FISCALIZACIÓN

CUADERNO NÚMERO 68

GOBERNABILIDAD EN EL ESPACIO

ALEJANDRO FARAH SIMÓN



CIUDAD UNIVERSITARIA

México
2026

Primera edición, 2026

D.R. © 2026 Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Contaduría y Administración
Ciudad Universitaria
(www.fca.unam.mx)

Seminario Universitario de Gobernabilidad y Fiscalización
<http://sug.unam.mx>

El contenido de este cuaderno es el resultado de la conferencia impartida por Alejandro Farah Simón, que tuvo lugar, de manera presencial, el jueves 25 de septiembre de 2025, en el Auditorio Arturo Elizundia Charles, de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Contaduría y Administración, ubicada en Ciudad Universitaria. Esta conferencia se enmarca en las actividades permanentes que lleva a cabo el Seminario Universitario de Gobernabilidad y Fiscalización.

Gobernabilidad en el espacio
<https://doi.org/10.22201/sdi.002b.2026>

Impreso y hecho en México

Contenido

Presentación	7
Gobernabilidad en el espacio	15
Referencias	97
Semblanza	101

Presentación

El interés por el Universo es una constante en la humanidad y, su estudio y desarrollo han generado avances para su exploración y conocimiento, fortaleciendo con ello la pasión por descubrir más sobre el cosmos.

El lanzamiento en 1957 del Sputnik-1, el primer satélite artificial de la historia, marcó el inicio de una carrera fascinante, una década después, en julio de 1969, el ser humano llegó a la Luna como parte de la misión Apollo 11. Ambas acciones son un hito que marcó a miles de personas que, a la

fecha, se sobresaltan al recordar estos avances del conocimiento y la capacidad humana.

No menos fascinantes han sido las observaciones y hallazgos realizados por antiguas civilizaciones, así como los descubrimientos y deducciones que establecieron eruditos astrónomos y matemáticos en diferentes etapas de la historia; y para reafirmar este interés por el espacio, nos ha tocado ser testigos, en este año 2026, de la misión Artemisa II, que permitió el regreso de hombres y mujeres a la Luna, a más de 50 años de que el astronauta Neils Armstrong, estampara su huella en el emblemático Mar de la Tranquilidad, de la superficie lunar.

Lo que sorprende es que, sin reflexionar o tener conciencia de ello, los avances en materia espacial y su estudio, así como el desarrollo científico y tecnológico centrado en el cosmos, no han parado.

Las investigaciones espaciales han hecho posible el diseño, fabricación, lanzamiento y puesta en órbita de miles de satélites artificiales que facilitan la ejecución de servicios que nos son necesarios en la vida cotidiana, me refiero a las telecomunicaciones, la conectividad, la sincronización financiera, la seguridad y el control de emergencias, por mencionar algunos. Hemos adoptado con naturalidad estos beneficios sin preguntarnos los efectos e impactos que su operación tienen en el espacio sideral.

A pesar de que ya se preveía el riesgo que representa la existencia de objetos inservibles que se mantienen en órbita, son apenas un par de décadas desde que el concepto de *contaminación o basura espacial* ha sido considerado como un problema serio que demanda atención. Por otro lado, también se ha hecho patente el interés por la minería espacial, es decir, la extracción de minerales y materiales disponibles en la Luna, esteroides y cometas, los cuales se dice representan magníficas opciones para la generación de

energía y/o son indispensables para el desarrollo industrial. Obtenerlas, procesarlas y traerlas a nuestro planeta se ha convertido en un jugoso y ambicioso proyecto que conlleva a diversas reflexiones éticas sobre propiedad, uso y usufructo que debemos poner sobre la mesa y abordarlas con la seriedad que representan.

Otra condición ineludible vinculada al desarrollo e investigación espacial, es la inversión económica que requiere la exploración del espacio exterior y el Universo, lo que complejiza la equidad global para su acceso, así como la disparidad en cuanto a la asignación presupuestal disponible para este tipo de proyectos entre una nación y otra. Muchas de las misiones espaciales son posibles gracias a la cooperación multinacional entre instituciones públicas y privadas, pero otras tantas se llevan a cabo por empresas privadas cuya operación y funcionamiento se dice estar bajo la responsabilidad de los países o Estados de donde son originarias,

condición que no necesariamente puede comprobarse o verificarse ante la ausencia de información pública, tanto financiera como del impacto que estos proyectos conllevan.

La falta de información fiable y comprobable aunado a la inminencia de los riesgos que estos negocios y proyectos generan, ha provocado, cada vez más, el interés público y especializado por el estudio del espacio exterior.

La presencia de actores comerciales en el espacio, nos obliga a conocer y saber más sobre los instrumentos existentes que norman y regulan al Universo para impulsar las acciones necesarias para su gobernabilidad.

La UNAM, es pionera y pilar fundamental del estudio de la astronomía en México. A través del Instituto de Astronomía y la administración del Observatorio Astronómico Nacional, encabeza la

investigación espacial y astronómica; además, se encarga de la formación de científicos calificados en estas áreas, así como del diseño y desarrollo de instrumentos astronómicos específicos. Una participación y reconocimiento importante para el Instituto de Astronomía fue formar parte del Gran Telescopio Canarias, en la Isla de la Palma, España, porque obtuvo el liderazgo en proyectos de instrumentación astronómica, lo que se tradujo en la oportunidad para hacer uso de este telescopio e impulsar proyectos de investigación de alto impacto.

El doctor Alejandro Farah Simón, eminente universitario, es integrante del Instituto de Astronomía y tuvo a su cargo, con gran éxito, el diseño de la estructura de soporte para la cámara de verificación del Gran Telescopio Canarias. Su desempeño en el instituto ha destacado por el rigor con que aplica las normas y estándares requeridos en la instrumentación astronómica y la tecnología espacial.

Ante los retos identificados en torno al espacio exterior, invitamos al doctor Farah Simón para que nos adentrara en este ámbito, tan interesante como polémico, que es la exploración espacial.

Convencido de la importancia de acceder a información puntual sobre el espacio y, hacerlo de la mano de un experto, como es el doctor Farah Simón, sus reflexiones y los datos que aporta, son un referente esencial para tomar conciencia de las acciones y medidas que la gobernabilidad del espacio y el cosmos requerirá.

Alfredo Adam Adam
Coordinador
Seminario Universitario de
Gobernabilidad y Fiscalización

Gobernabilidad en el espacio

Para hablar sobre gobernabilidad en el espacio, es necesario empezar con una introducción tanto de astronomía como del Universo, porque ambos temas están directamente relacionados con la existencia del planeta que habitamos. Todo esto vincula a nuestra sociedad con aspectos científicos, sociales, industriales, de recursos naturales y, por supuesto, de derechos y obligaciones.

Propongo una analogía: así como es habitual preguntarse acerca de la manera en que evoluciona el conocimiento, de igual forma debemos hacerlo

con relación a la astronomía, ciencia que se desarrolla a partir de la observación, la investigación y el avance tecnológico. Que, a su vez, requiere de tecnología precisa y específica para el diseño y fabricación de equipos e instrumentos destinados tanto a la observación como al procesamiento de datos e información que posteriormente se traducirán en nuevos conocimientos sobre el espacio. Este proceso es continuo y se encuentra en permanente evolución y transformación. Cada día surgen nuevas posibilidades para comprender mejor el cosmos.

La astronomía no se desarrolla *per se*, sino que es resultado del avance y la innovación tecnológica; también es importante señalar que el desarrollo de equipamiento específico para el estudio del Universo surge, en gran medida, a partir de las necesidades de los propios astrónomos, quienes a su vez son motor e impulso del desarrollo tecnológico. Todo está interrelacionado y en continuo movimiento.

La ciencia astronómica evoluciona continuamente, no de manera circular, sino en múltiples sentidos y direcciones. Es compleja y emocionante; distinta, pero al mismo tiempo semejante a cualquier otra área del conocimiento. Para ejemplificar lo anterior, recordemos las distintas formas en que hemos medido y organizado la contabilidad del tiempo.

Los egipcios, los chinos y los mayas desarrollaron distintos calendarios, con diferencias cada uno que vale la pena analizar. Los egipcios consignaban que un año estaba conformado por 365.25 días, por lo que cada 4 años agregaban un día más, el bisiesto. Los chinos mezclaban los movimientos de la Luna con los del Sol, y aproximadamente cada 19 años, hacían una corrección.

El calendario maya es muy interesante, aunque pone en evidencia la errónea creencia de que los días tienen una duración exacta de 24 horas y que cada año está conformado por 365 días exactos, ya que el

comportamiento astronómico real no es tan preciso ni uniforme. Los mayas identificaron que la Tierra realiza dos movimientos distintos: la rotación sobre su eje y la traslación alrededor del Sol, lo que implica que, dependiendo de la exposición solar derivada de la interrelación entre ambos movimientos a lo largo del año, existen pequeñas variaciones en la duración de los días. Actualmente, mediante mediciones astronómicas de alta precisión y complementadas con datos contemporáneos, se sabe que la duración media de un año corresponde aproximadamente a 365 días, 5 horas, 48 minutos y 45.5 segundos. Asimismo, se sabe que la rotación terrestre no es perfectamente uniforme, por lo que la duración real de los días puede presentar ligerísimas variaciones con respecto al valor medio de 24 horas.

Es asombroso que los mayas identificaran estas variaciones a través de la observación directa y logaran una precisión calendárica que integraba tanto el movimiento del Sol como el de la Luna.

Esto dio origen a lo que se conoce como la Rueda Calendárica, cuya aproximación al año solar —365.2420 días— evidencia el notable nivel de precisión alcanzado por esta civilización, donde los decimales resultaban fundamentales.

Todo ello genera un profundo orgullo hacia la cultura maya, especialmente considerando que estos cálculos fueron obtenidos sin instrumentos tecnológicos modernos, únicamente mediante observación, registro y análisis astronómico sistemático. Diversos estudios, incluso, señalan que los mayas identificaron correcciones de largo periodo para mantener la precisión de sus calendarios. Sin duda, se trata de uno de los desarrollos astronómicos más avanzados de la antigüedad.

Proceso hacia el calendario Maya



Fuente: Elaboración propia. Movimientos de la Tierra, de traslación alrededor del Sol y de rotación sobre su eje; estaciones y duración del año astronómico y de acuerdo con el calendario Maya.

Estos cálculos forman parte de tradiciones astronómicas cuyo alcance todavía continúa sorprendiéndonos. Resulta interesante reflexionar sobre las coincidencias existentes entre distintos desarrollos calendáricos de la humanidad, particularmente cuando se comparan los niveles de precisión alcanzados por diversas civilizaciones.

El calendario juliano, utilizado en Europa hasta el siglo XVI, contemplaba tanto el inicio y término de las estaciones como los equinoccios y solsticios; sin embargo, con el paso del tiempo comenzaron a identificarse desfases acumulativos entre el calendario y los ciclos astronómicos reales. Lo que sí está documentado es que, en 1582, se realizaron una serie de ajustes que incluyeron la eliminación de varios días para corregir dichos desfases, dando origen al calendario gregoriano.

Aunque no existe evidencia documental concluyente de una influencia directa entre los cálculos mayas y la reforma gregoriana, resulta notable comparar el alto nivel de precisión alcanzado por ambas tradiciones astronómicas, desarrolladas en contextos históricos y culturales completamente distintos. Lo que sí ha quedado plenamente registrado es que fue el papa Gregorio XIII quien determinó sustituir el calendario juliano por uno nuevo, posteriormente conocido como calendario

gregoriano en su honor. Dicha reforma se apoyó en estudios realizados por matemáticos, teólogos y humanistas europeos, particularmente vinculados con la Universidad de Salamanca, cuyos trabajos contribuyeron al establecimiento de un calendario más preciso y acorde con las observaciones astronómicas de la época.

Este relato corresponde a un hecho histórico importante porque condujo al establecimiento del mecanismo que hoy rige nuestro quehacer en el tiempo y el espacio; pero también, ayuda a dimensionar la manera en que evoluciona el conocimiento, generando impactos precisos que modifican la vida misma. Esto sucede igualmente con la astronomía y con la ciencia en general: procesos continuos que van aportando respuestas mientras, al mismo tiempo, generan nuevas preguntas de manera permanente.

No hay que olvidar que somos seres humanos: curiosos, inquietos y, en muchos sentidos,

egocéntricos. Inmediatamente después de obtener una respuesta sobre algo, aparecen nuevas interrogantes que exigen ser comprendidas. Así evoluciona el conocimiento, pero lo más sorprendente —o quizá debería decir maravilloso— es que todo ello forma parte de nuestra cotidianidad, de la vida de todos los días.

Otro ejemplo clásico que confirma el continuo proceso de evolución del conocimiento fue el desafío que Galileo Galilei enfrentó respecto al movimiento de los planetas, las estrellas y el Sol, así como la gran interrogante de su tiempo: ¿qué cuerpos eran realmente los que se movían?

Galileo Galilei fue matemático, astrónomo, científico e ingeniero italiano, un perfecto representante del Renacimiento, época que impulsó profundas transformaciones en el pensamiento humano. A partir de la observación directa y utilizando telescopios contruidos y perfeccionados manualmente,

defendió la idea de que es la Tierra la que gira alrededor del Sol y no al revés, como sostenían la autoridad religiosa y buena parte del pensamiento dominante de aquella época.

El telescopio que utilizó tenía importantes limitaciones ópticas; sin embargo, Galileo logró mejorarlos significativamente a partir de diseños holandeses atribuidos a Hans Lippershey, reconocido fabricante de catalejos. De las aportaciones más importantes de Galileo fue montar el telescopio sobre un trípode, otorgándole estabilidad para llevar un registro sistemático de las observaciones. Mismo lugar, mismo punto de observación. Esta forma ordenada y disciplinada de estudiar el cielo es parte de lo que lo ha llevado a ser considerado uno de los padres del método científico moderno, al integrar la observación directa con el razonamiento lógico.

Es cierto que Galileo no inventó el telescopio, sin embargo, sí logró perfeccionarlo. Mejoró

significativamente su capacidad de aumento y observación, alcanzando niveles muy superiores a los de otros instrumentos de la época. Fue precisamente esta capacidad la que le permitió observar a Júpiter y a lo que inicialmente describió como cuatro estrellas que lo acompañaban. Galileo aún no sabía que en realidad se trataba de las lunas de Júpiter, planeta del que actualmente se conocen más de 90 satélites naturales.

Estas observaciones fueron registradas y publicadas por Galileo en marzo de 1610 en un breve tratado escrito en latín, titulado *Sidereus Nuncius*, conocido en español como *Mensajero Sideral*. En esta obra plasmó observaciones, dibujos y descripciones que contradecían la idea defendida por la Iglesia y por buena parte del pensamiento de la época: que la Tierra era el centro inmóvil del universo, mientras que el Sol, la Luna y los demás astros giraban a su alrededor. Esta concepción corresponde

al modelo geocéntrico formulado desde la antigüedad por Aristóteles y Ptolomeo.

Al ir en contra de lo defendido por las autoridades eclesiásticas, el *Sidereus Nuncius* y la defensa de la teoría heliocéntrica hicieron que Galileo Galilei fuera considerado sospechoso de herejía, por lo que fue enjuiciado por la Inquisición.

La teoría heliocéntrica, que colocaba al Sol en el centro del sistema planetario, ya había sido propuesta por Nicolás Copérnico, y Galileo la defendía a partir de sus observaciones y hallazgos astronómicos.

El juicio contra Galileo fue un proceso largo y complejo. Finalmente, optó por retractarse públicamente de sus ideas, por lo que su condena consistió en permanecer bajo arresto domiciliario, abandonar la enseñanza y evitar la defensa pública de teorías consideradas contrarias a las Sagradas Escrituras.

Sin embargo, nunca dejó de observar el cielo. Conservó sus instrumentos y, desde su reclusión, continuó realizando observaciones astronómicas. Finalmente murió ciego a los 77 años, condición que históricamente se ha asociado con sus observaciones solares.

Al hablar del proceso que enfrentó Galileo Galilei, siempre se menciona la frase que se le atribuye después de retractarse públicamente de sus ideas: “Y, sin embargo, se mueve”, o en italiano, *E pur si muove*. Más allá de su autenticidad histórica, esta expresión representa la tenacidad de este brillante astrónomo, así como la disciplina y convicción que han requerido, a lo largo de la historia, miles de científicos y pensadores para impulsar el avance del conocimiento.

La representación del juicio de la Inquisición contra Galileo quedó plasmada en la obra *Eppur si muove*, del pintor francés Joseph-Nicolas

Robert-Fleury, una pintura sumamente elocuente sobre lo sucedido.

Eppur si muove



Fuente: Galileo ante el Santo Oficio, de Joseph-Nicolas Robert-Fleury, Siglo XIX. *Obra de arte de dominio público.*

Algo interesante es que, en 1979, ya en pleno siglo XX, el papa Juan Pablo II manifestó un interés particular en revisar la condena impuesta por el Santo Oficio Romano contra Galileo Galilei. Como resultado, en 1981 dispuso la creación de la Comisión Pontificia para el Estudio del Caso Galileo, con el

propósito de analizar nuevamente lo ocurrido en 1633, año en que fue dictada la sentencia.

Después de varios años de revisiones, análisis e interpretaciones, fue hasta 1992 cuando finalmente se dieron a conocer las conclusiones de la comisión. Entre ellas, destacó el reconocimiento de errores cometidos por algunos integrantes de la Iglesia en el tratamiento del caso Galileo, así como la reivindicación de su figura como hombre de fe y destacado científico.

Resulta impresionante pensar que tuvieron que transcurrir prácticamente cuatro siglos, y que la humanidad llegara incluso a colocar satélites en órbita, para reconocer plenamente la trascendencia de las ideas y observaciones defendidas por Galileo Galilei.

Poco después, en el año de 1994, un grupo de científicos estadounidenses contribuyó de manera

importante a la ciencia planetaria al obtener cálculos sobre el impacto y la energía liberada por el cometa Shoemaker-Levy 9 al colisionar con la atmósfera de Júpiter.

Fue un evento astronómico histórico y sin precedentes, al representar la primera observación directa detallada de la colisión de un cometa con un planeta. La intensa atracción gravitacional de Júpiter provocó que el cometa se fragmentara en 21 cuerpos principales de gran tamaño. El impacto de algunos de estos fragmentos generó enormes regiones de impacto en la atmósfera joviana, algunas incluso de dimensiones superiores al diámetro de la Tierra. Además, liberaron cantidades extraordinarias de energía, equivalentes, de manera aproximada, a cientos de millones de bombas atómicas.

Los cálculos y datos obtenidos a partir de este acontecimiento han sido fundamentales para la ciencia astronómica y planetaria. Este suceso también

dejó importantes lecciones para la humanidad, particularmente sobre la necesidad de comprender y vigilar los riesgos asociados con posibles impactos de asteroides y cometas contra la Tierra. Es por ello por lo que, desde entonces, se han impulsado programas específicos destinados a la búsqueda, identificación, observación y monitoreo de objetos cercanos a nuestro planeta.

Más allá del impacto científico inmediato, el cometa Shoemaker-Levy 9 contribuyó significativamente al desarrollo de nuevas investigaciones sobre dinámica orbital, atmósferas y defensa planetarias. Sin duda, uno de los aspectos más importantes de este acontecimiento es constatar que seguimos avanzando en el conocimiento que tenemos sobre el espacio.

Como mencioné, el desarrollo de la tecnología espacial es asombroso y evoluciona vertiginosamente, generando hallazgos que continuamente

transforman lo que sabemos sobre el universo. En este sentido, hablar del sistema planetario solar, su conformación y evolución, es una muestra clara de estos avances.

Sistema Planetario Solar

Si nos remontamos a los antiguos griegos, encontraremos que ya habían identificado cinco planetas visibles a simple vista: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. A ellos sumaban también al Sol y la Luna, considerados entonces como astros errantes que se desplazaban sobre el fondo fijo de estrellas.

Con el paso del tiempo, y particularmente durante el siglo XIX, comenzó a popularizarse la idea de que entre Marte y Júpiter existía una región conformada por numerosos cuerpos celestes. Algunos de ellos, incluso, fueron considerados inicialmente como planetas, como ocurrió con Ceres, objeto que posteriormente sería reclasificado como planeta enano. Fue también durante este periodo

cuando surgió el concepto de “asteroide”, término atribuido al astrónomo William Herschel, quien utilizó una palabra de raíz griega relacionada con “algo similar a una estrella” para nombrar a estos cuerpos menores del Sistema Solar.

Hacia 1850 quedó establecido el término “Cinturón de Asteroides” para describir esta extensa región conformada por fragmentos rocosos, cuerpos menores y material remanente del proceso de formación planetaria.

Durante el siglo XX, y gracias a nuevas observaciones, criterios científicos y avances tecnológicos, el conocimiento sobre la conformación del Sistema Solar experimentó profundas transformaciones. Finalmente, en el año 2006, la Unión Astronómica Internacional redefinió oficialmente el concepto de planeta. Fue entonces cuando Plutón dejó de ser considerado el noveno planeta del Sistema Solar para recibir la categoría de planeta enano, decisión que

generó una gran controversia, que no detuvo las investigaciones sobre este cuerpo celeste y otros objetos localizados más allá de la órbita de Neptuno.

Ahora vale la pena retroceder unas décadas, a los años cincuenta y sesenta del siglo XX, periodo en el que el astrónomo Gerard Kuiper ya había propuesto la existencia de una región conformada por cuerpos helados y cometas más allá de la órbita de Neptuno. Sin embargo, fue hasta 1992 cuando se confirmó observacionalmente la existencia de esta zona, conocida actualmente como el Cinturón de Kuiper.

Se trata de una extensa región ubicada en el sistema solar exterior, más allá de Neptuno, en la que orbitan millones de objetos, incluyendo planetas enanos como Plutón, Eris, Makemake y Haumea. Las investigaciones realizadas en esta zona han permitido detectar y catalogar miles de cuerpos celestes, además de estudiar numerosos

cometas de periodo corto que provienen de esta región del Sistema Solar.

Misiones espaciales: propósito, relevancia e intereses

Hablar de las misiones espaciales es inevitable. Para que puedan llevarse a cabo, requieren de proyectos sustentados en investigación científica y desarrollo tecnológico, capaces de generar nuevo conocimiento e impulsar avances en distintos ámbitos. Uno de los principales propósitos de estas misiones es precisamente el desarrollo científico y tecnológico.

Las misiones espaciales contribuyen a satisfacer la curiosidad propia de la condición humana sobre el origen del universo y la posibilidad de vida más allá de la Tierra. Sin embargo, también son motivo de debate, ya que impactan distintos ámbitos, como la geopolítica, el medio ambiente, los principios éticos y, por supuesto, los intereses económicos, cuyos propósitos no siempre se

explicitan con claridad. Una de las grandes interrogantes que impulsa la investigación astronómica es la existencia de condiciones aptas para la vida, así como la disponibilidad de agua, minerales, metales y compuestos orgánicos en otros cuerpos celestes.

Otra característica importante de las misiones espaciales es la rapidez con la que evolucionan, su alcance y capacidades tecnológicas. Aunque muchas cosas han cambiado desde mediados del siglo XX hasta nuestros días, resulta sorprendente la velocidad con la que continúan ocurriendo estos avances.

La carrera espacial, o el inicio de las grandes misiones espaciales modernas, puede situarse en 1957 con el lanzamiento del Sputnik 1 por la entonces Unión Soviética, seguido, años después, por la llegada del ser humano a la Luna mediante la misión Apolo 11, en 1969, proyecto desarrollado por la NASA en Estados Unidos.

Desde entonces, las investigaciones y misiones espaciales han continuado avanzando, aportando nuevos conocimientos y generando perspectivas que no siempre se explicitan completamente. Veamos algunas de ellas, así como los hallazgos y las implicaciones que han producido.

Sin seguir necesariamente un orden cronológico, hablaré de la misión Rosetta, iniciada en 2004 y reconocida por ser la primera diseñada para orbitar un cometa y colocar un módulo de aterrizaje sobre su superficie. Su objetivo fue el cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, conocido por los amigos como Chury.

Rosetta transportó a Philae, un módulo robótico de aterrizaje destinado a obtener información directa sobre la composición, estructura y propiedades físicas del cometa. Sin duda, esta misión representa un importante hito tecnológico, al lograr tanto la inserción orbital como el primer descenso

controlado sobre la superficie de un cometa, obteniendo datos sin precedentes sobre su estructura, composición y campo magnético.

Desde el inicio de esta misión se tenía claramente definido que su propósito era obtener datos e información relevantes que ayudaran a comprender la conformación y evolución del Sistema Solar. De ahí que la sonda protagonista recibiera el nombre de Rosetta, en referencia a la famosa Piedra Rosetta, pieza fundamental para descifrar los jeroglíficos egipcios de miles de años de antigüedad.

La misión tuvo un costo superior a los mil millones de dólares (ESA, 2009) y requirió la participación de miles de personas con perfiles científicos, técnicos e ingenieriles muy diversos, además de instituciones como la Agencia Espacial Europea (ESA), la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) y organismos vinculados con la Unión Europea, todos enfocados en estudiar la

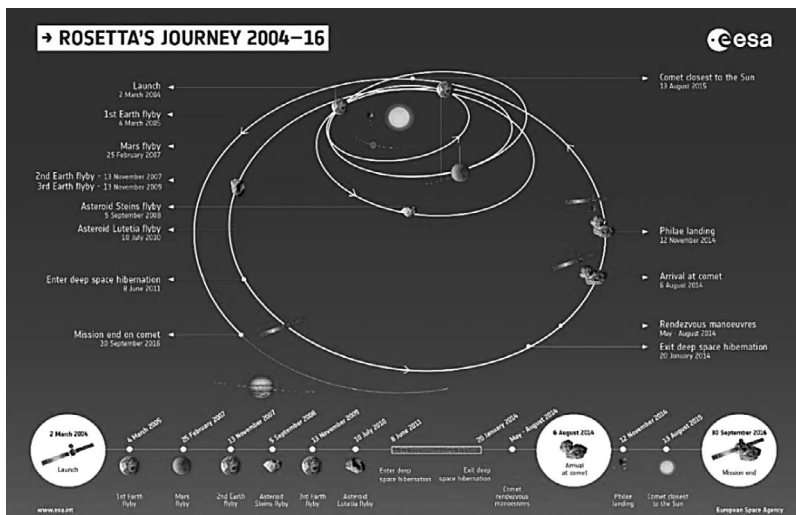
composición y características del cometa. México participó en algunas facetas de la investigación, aunque sin involucrarse directamente en el desarrollo tecnológico de la misión.

Después de su lanzamiento, Rosetta realizó varias maniobras de asistencia gravitacional alrededor de la Tierra y Marte para incrementar progresivamente su velocidad. Poco a poco alcanzó velocidades cercanas a los 45 mil kilómetros por hora, decenas de veces superiores a las de un avión comercial. Finalmente, en 2014 alcanzó al cometa Chury y liberó a Philae, módulo que funcionó aproximadamente 63 horas antes de entrar en hibernación debido a las dificultades presentadas durante el aterrizaje sobre la superficie del cometa.

Uno de los aspectos más importantes de esta misión ocurrió en 2015, cuando, ocho meses después del aterrizaje, se logró reactivar temporalmente a Philae y obtener nuevos datos científicos

relevantes. La revista *Science* dedicó en ese mismo año un número especial a la publicación de los principales resultados científicos de la misión.

Viaje y cronología de Rosetta (2004-2016)



Fuente: Infografía y cronología que resumen los hitos del viaje de Rosetta a través del Sistema Solar, desde su lanzamiento en 2004 hasta el final de la misión en 2016. European Space Agency, 21/09/2016. https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2016/09/Rosetta_s_journey_and_timeline_2004_16

Cometa Churyumov-Gerasimenko, Chury

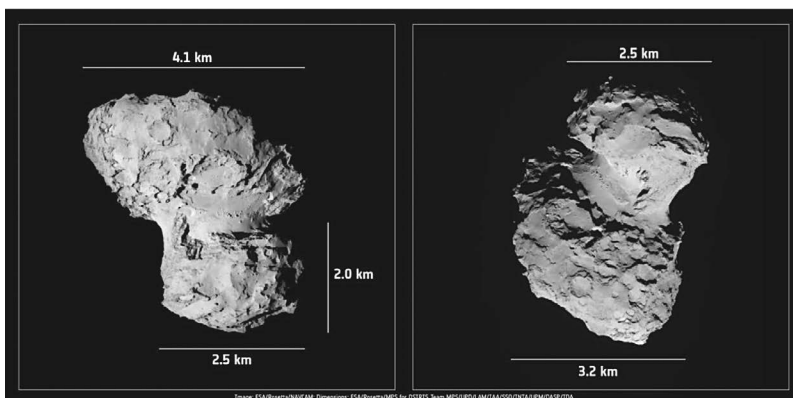
Poder observar al cometa Chury permite dimensionar su enorme tamaño. Tan solo una de sus bases supera los 3 kilómetros de extensión. Y aunque pudiera parecer únicamente un dato relacionado con sus dimensiones, no hay que olvidar que se trata de un cuerpo en constante movimiento orbital. De acuerdo con diversos estudios y estadísticas, existe la posibilidad de que cometas o asteroides de características similares puedan llegar a colisionar con nuestro planeta. Las consecuencias de un impacto de gran magnitud podrían ser catastróficas, incluso con efectos globales para la vida en la Tierra.

Precisamente para comprender mejor cómo actuar ante una posible amenaza de este tipo es que se impulsan investigaciones, estudios multilaterales y misiones espaciales como Rosetta y Philae. El propósito es obtener información y datos que permitan entender con mayor precisión la composición, estructura y comportamiento de estos cuerpos,

además de continuar desarrollando tecnología destinada a proteger nuestra casa: el planeta Tierra.

Somos la primera especie con la capacidad de cuidarse y salvarse a sí misma, y también la primera que puede proteger al planeta de amenazas provenientes del espacio. Esa es una de las principales motivaciones detrás del impulso a la investigación y al desarrollo espacial, razón por la cual países como México destinan recursos a la ciencia y la tecnología. Sin embargo, como ya lo señalaba, también existen otros intereses y motivaciones sobre los que es necesario reflexionar y mantenernos atentos, pues responden a distintos propósitos y finalidades, de los que hablaré más adelante.

Cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko



Fuente: Dimensiones del cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko, a partir de imágenes tomadas por el sistema de imágenes OSIRIS de Rosetta. https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2014/10/Measuring_Comet_67P_C-G

Asteroide Psique 16

La NASA, mediante observaciones realizadas con distintos instrumentos astronómicos, incluyendo el telescopio espacial Hubble, ha obtenido en años recientes información muy interesante sobre el asteroide Psyche 16. Aunque este cuerpo celeste fue descubierto desde 1852 en el Observatorio de Capodimonte, en Nápoles, Italia, las observaciones modernas han permitido considerarlo como uno de los asteroides metálicos más importantes identificados hasta ahora.

Diversos estudios sugieren que Psyche 16 podría contener grandes cantidades de hierro, níquel y otros metales de alto interés tecnológico e industrial. En torno a este asteroide han circulado múltiples estimaciones sobre el posible valor económico de sus recursos, alcanzando cifras de quintillones de dólares; sin embargo, más allá de estas especulaciones, lo verdaderamente relevante es el enorme interés científico, industrial y tecnológico que representan este tipo de materiales.

Muchos de estos metales son fundamentales para el desarrollo de tecnologías avanzadas, la fabricación de dispositivos electrónicos, sistemas robóticos, computadoras, teléfonos celulares y componentes aeroespaciales, entre muchas otras aplicaciones. Precisamente esta condición ha despertado el interés de gobiernos y empresas privadas por explorar el espacio, llegar a asteroides como Psyche 16 y, eventualmente, desarrollar capacidades para la extracción y aprovechamiento de recursos extraterrestres.

Y es aquí donde comienzan a surgir nuevas preguntas sobre gobernabilidad, regulación internacional, propiedad de los recursos espaciales y los verdaderos intereses que impulsan determinadas misiones espaciales.

Entre las empresas de minería espacial podemos mencionar las siguientes:

Empresas de minería espacial

Empresa	País / Región	Descripción
AstroForge	Estados Unidos	Activa, trabajando en tecnologías para refinar metales de asteroides. (Wikipedia)
iSpace, INC.	Japón	Globalmente activa. Aparece en diversos reportes de mercado como uno de los jugadores del sector. (Researchandmar)
Moon Express Inc.	Estados Unidos	Se menciona con frecuencia en informes de minería espacial. (Researchandmar)
Asteroid Mining Corporation Ltd.	Reino Unido	Involucrada en varios reportes. (Researchandmar)
TransAstra Corporation	Estados Unidos	Trabaja tecnología de extracción de recursos espaciales. (Researchandmar)
Karman+	Países Bajo, pero trasladó su sede a Estados Unidos	Startup que se menciona con planes de misión para 2026. (Orbital Today)

Fuente: Elaboración propia a partir de consultas expresas a la web.

Estas son solo algunas de las empresas y organizaciones formalmente establecidas sobre las que existe información pública; sin embargo, es probable que

existan muchos otros grupos, intereses y gobiernos involucrados en este tipo de inversiones espaciales cuyos alcances no conocemos completamente. De lo que no parece haber duda es de que se trata de un enorme negocio. Entonces surgen preguntas fundamentales: ¿quiénes serán dueños de estos recursos?, ¿de qué manera serán traídos a la Tierra?, ¿quiénes se beneficiarán de ellos?, y ¿qué implicaciones tendrá todo esto para un desarrollo verdaderamente equitativo a nivel global?

Todo parece indicar que, como ciudadanos y habitantes de este planeta —o, si se quiere, como terrícolas—, difícilmente conoceremos por completo el impacto real de muchas de estas misiones espaciales. Con frecuencia, empresas, grupos de interés y gobiernos justifican estas inversiones bajo argumentos relacionados con el desarrollo científico, tecnológico y la generación de energías limpias. Sin embargo, también es evidente que muchos de estos materiales podrían utilizarse para producir

tecnologías y productos altamente rentables cuyos beneficios económicos quedarían concentrados en sectores específicos.

Resulta evidente la enorme repercusión que tiene la investigación científica del espacio, así como los beneficios tecnológicos e industriales que genera para empresas y organismos asociados. Y, desde otra perspectiva, también deben reconocerse las enormes posibilidades que abre para la generación de conocimiento y para la comprensión del universo.

A manera de recuento, mencionaré ahora algunas misiones que han contribuido significativamente al avance en la búsqueda de información y generación de conocimiento sobre el espacio.

La misión Voyager

En agosto de 1977, la NASA lanzó, con apenas unas semanas de diferencia, las sondas Voyager 1 y Voyager 2, ambas alimentadas mediante generadores

nucleares de radioisótopos. El propósito inicial de estas misiones era explorar los planetas exteriores del Sistema Solar: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Sin embargo, con el paso del tiempo, las Voyager terminaron convirtiéndose en algunas de las misiones más importantes y longevas en la historia de la exploración espacial.

Actualmente, estas sondas representan los primeros objetos contruidos por la humanidad en cruzar la heliosfera e ingresar al entorno interestelar. Después de más de 45 años de viaje, continúan enviando información y realizando observaciones sobre las regiones más alejadas exploradas por el ser humano.

La distancia a la que hoy se encuentran es verdaderamente impresionante: decenas de miles de millones de kilómetros, equivalentes a más de 150 veces la distancia promedio entre la Tierra y el Sol. Dimensionar estas escalas permite comprender no

solo la magnitud del espacio, sino también el enorme avance tecnológico que ha hecho posible mantener operativas estas misiones durante tantas décadas.

Telescopio Espacial Kepler

Fue lanzado por la NASA en 2009 con el propósito de buscar e identificar planetas fuera de nuestro Sistema Solar, conocidos como exoplanetas. La misión Kepler —y posteriormente su extensión K2— permaneció en operación hasta 2018, periodo durante el cual revolucionó el conocimiento que tenemos sobre otros sistemas planetarios.

Kepler fue diseñado específicamente para detectar planetas mediante observaciones extremadamente precisas de la luz emitida por miles de estrellas. Se trató de una misión de enorme complejidad tecnológica, científica y económica, que requirió una inversión considerable de recursos, tiempo y talento humano especializado.

Los hallazgos obtenidos por Kepler justifican ampliamente ese esfuerzo. Durante más de nueve años de operación, la misión permitió confirmar más de 2,600 exoplanetas y detectar miles de candidatos adicionales (NASA, 2018). Gracias a estas observaciones, fue posible identificar diversos planetas localizados en zonas potencialmente habitables, es decir, regiones donde podrían existir condiciones favorables para la presencia de agua líquida y, eventualmente, formas de vida similares a las conocidas en la Tierra.

Determinar estas condiciones resulta especialmente importante porque nuestro Sol, como parte de su evolución natural, agotará eventualmente su hidrógeno y se transformará en un gigante rojo dentro de aproximadamente 5 mil millones de años. Durante ese proceso, el Sol aumentará considerablemente su tamaño y energía, afectando de manera drástica a los planetas interiores del Sistema Solar, incluida la Tierra.

Aunque estas teorías forman parte del continuo desarrollo de la astrofísica moderna, también se relacionan con una de las preguntas más antiguas de la humanidad: nuestra condición finita y el futuro de nuestra especie. Pensar en lo que sucederá impulsa la investigación científica, la creatividad y también la ciencia ficción; sin embargo, lo verdaderamente importante es continuar avanzando en el conocimiento del universo.

Siempre me ha parecido importante destacar los hallazgos positivos y valorar los aciertos, que son muchos. Misiones como Kepler han permitido descubrir enormes cantidades de planetas y confirmar la existencia de sistemas planetarios muy distintos, y en algunos casos semejantes, al nuestro.

México ha participado en varias de estas investigaciones y proyectos científicos y, aunque no necesariamente en el desarrollo tecnológico de las

misiones, sí ha contribuido mediante la generación de conocimiento astronómico y científico.

Satélite Gaia

Gaia es una misión astrométrica espacial desarrollada por la Agencia Espacial Europea (ESA). Fue lanzada en 2013 con el propósito de generar el mapa tridimensional más preciso realizado hasta ahora de nuestra galaxia, la Vía Láctea.

Esta enorme cartografía espacial fue concebida para identificar la posición, distancia, movimiento y otras propiedades físicas de más de mil millones de estrellas, lo que representa aproximadamente el uno por ciento de todas las estrellas existentes en la galaxia. Sin duda, se trató de uno de los mayores retos científicos y tecnológicos de la astronomía contemporánea.

Durante más de una década de operación, Gaia logró medir con extraordinaria precisión la

posición, el movimiento, el brillo y la composición de estas estrellas, generando un catálogo estelar sin precedentes que ha permitido comprender mejor la estructura, dinámica y evolución de la Vía Láctea.

Satélite Gaia



Fuente: Gaia mapeando las estrellas de la Vía Láctea. ESA, European Space Agency. Gaia Overview (2004)

Además de su enorme impacto científico, la misión Gaia también ha contribuido al perfeccionamiento de los sistemas de referencia astronómica utilizados en navegación y posicionamiento satelital de alta

precisión, incluidos algunos de los marcos fundamentales empleados en tecnologías similares al GPS.

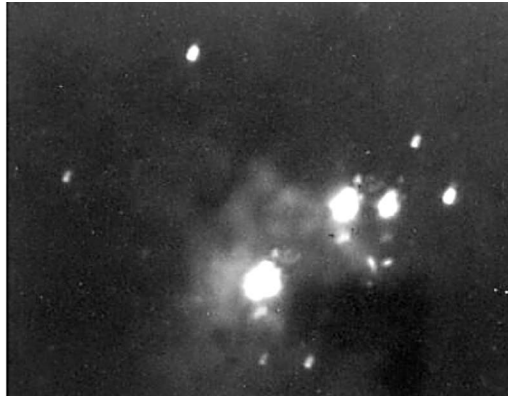
La UNAM tuvo una participación destacada en esta misión. Astrónomos del Instituto de Astronomía colaboraron en el análisis e interpretación de los datos obtenidos por Gaia y en diversas investigaciones relacionadas con el mapa tridimensional de la Vía Láctea. Para ello utilizaron supercomputadoras como Miztli, una poderosa herramienta destinada al procesamiento de investigaciones complejas en múltiples disciplinas científicas y que destacó por su capacidad para modelar y recrear procesos asociados con la evolución de galaxias.

Evolución de la investigación espacial

La ciencia espacial evoluciona constantemente, contribuyendo a generar un conocimiento cada vez más amplio y preciso sobre el espacio y nuestro entorno cósmico. La Nebulosa de Orión representa uno de

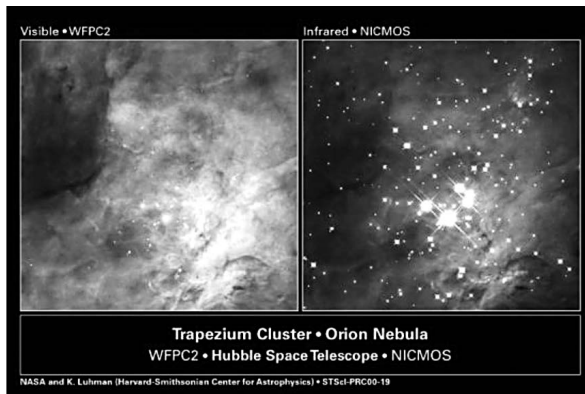
los ejemplos más claros de estos avances tecnológicos y científicos.

Nebulosa de Orion - 1880



Fuente: Nebulosa de Orión, Henry Draper (1880). Astronomy.com

Orion fotografiada por el Telescopio Hubble - 2000



Fuente: ESA. Hubble. (2000) K.L.Luhman(Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, Mass.); et.al. <https://esahubble.org/images/opo0019a/>

La imagen superior corresponde a la primera fotografía de Orión obtenida por el astrónomo y fotógrafo estadounidense Henry Draper en 1880. Para ello utilizó un telescopio de gran apertura desde su casa en Hastings-on-Hudson, al norte de la ciudad de Nueva York. Las imágenes inferiores también corresponden a la Nebulosa de Orión, pero fueron obtenidas utilizando todos los recursos tecnológicos del Telescopio Espacial Hubble de la NASA, en longitudes de onda visibles e infrarrojas. Esto ha permitido no solo obtener imágenes mucho más detalladas, sino también comprender mejor la física del universo.

Determinar el número de estrellas y galaxias existentes es una tarea extremadamente compleja, pues hablamos de cantidades difíciles, incluso de imaginar. A manera de analogía, siempre señalo que una posible forma de dimensionar estas cantidades sería intentar contar, uno por uno, todos los granos de arena presentes en las playas, desiertos y mares

de nuestro planeta. El resultado sería un número extraordinariamente grande y prácticamente imposible de calcular con exactitud; y aun así, esa cifra apenas podría aproximarse a la cantidad de estrellas visibles en el universo, ya que existen muchísimas más que solo pueden detectarse mediante otras longitudes de onda y observaciones especializadas.

Importancia de las misiones e investigaciones

La sonda no tripulada New Horizons, que continúa activa hasta la fecha, fue destinada a la exploración de Plutón, sus satélites y diversos objetos localizados en el Cinturón de Kuiper. Desde su lanzamiento en 2006, desde Cabo Cañaveral, en Estados Unidos, esta misión desarrollada por la NASA tuvo como propósito ampliar el conocimiento sobre las regiones más alejadas del Sistema Solar y realizar estudios científicos detallados sobre Plutón.

Tan solo el desafío tecnológico que representó esta misión ha sido extraordinario. New Horizons

alcanzó velocidades superiores a los 58 mil kilómetros por hora, convirtiéndose en una de las sondas más rápidas construidas por el ser humano. Gracias a ello, logró obtener imágenes y datos sin precedentes sobre Plutón, sus lunas y diversos objetos transneptunianos, permitiendo comprender mucho mejor la naturaleza de estas regiones distantes del Sistema Solar.

Impulsar investigaciones científicas rigurosas y precisas no solo permite ampliar el conocimiento astronómico, sino también analizar algunos de los grandes desafíos que enfrentamos como especie. Uno de ellos está relacionado con el Sol, centro energético y motor fundamental de nuestro entorno planetario.

A finales del siglo XIX todavía existían importantes dudas sobre la verdadera naturaleza del Sol. Aunque se reconocía su enorme importancia, aún no se comprendía completamente su composición,

estructura interna ni el mecanismo mediante el cual generaba energía. Fue durante el siglo XX cuando la física permitió entender que el Sol produce energía mediante procesos de fusión nuclear. También se comprendió mejor la relevancia de la magnetósfera terrestre, es decir, el campo magnético que rodea a nuestro planeta y que funciona como un escudo natural frente a partículas energéticas provenientes del espacio.

En torno al Sol existen numerosas teorías y proyecciones relacionadas con el tiempo durante el cual continuará generando energía y sobre los efectos que su evolución futura tendrá sobre la Tierra. Actualmente se estima que dentro de aproximadamente 5 mil millones de años el Sol agotará el hidrógeno de su núcleo y comenzará una transformación hacia la fase de gigante roja, proceso que alterará profundamente las condiciones de los planetas interiores del Sistema Solar.

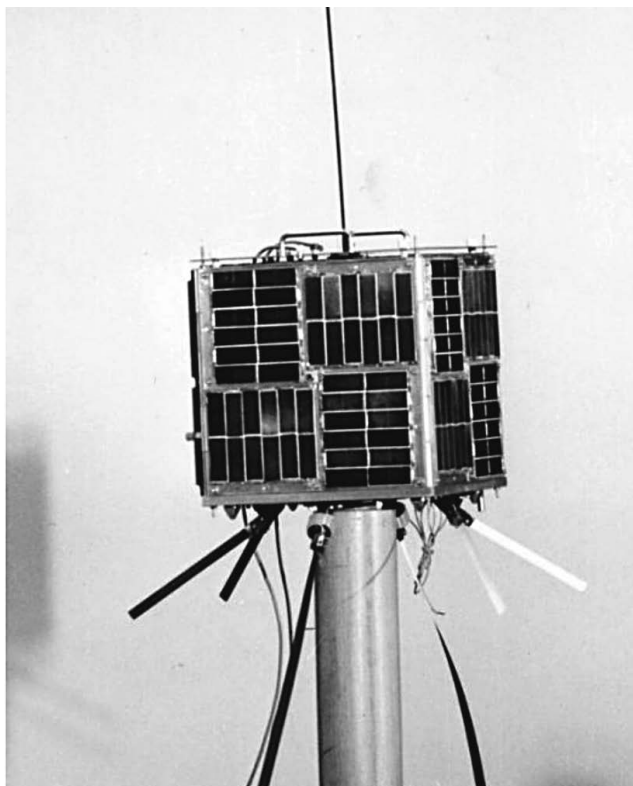
Comprender las interrelaciones existentes entre el Sol, la Tierra y el espacio resulta fundamental para dimensionar los efectos que podrían impactar a nuestro planeta. Pensar en estas escalas de tiempo y energía también permite tomar conciencia de la inmensidad del universo y de la fragilidad de nuestra existencia dentro de él.

Finalmente, reflexionar sobre la relación entre el tiempo, el espacio y la energía ayuda a comprender que, aunque nuestras dimensiones humanas parezcan pequeñas frente al universo, todo lo que hacemos en nuestro entorno puede generar consecuencias e impactos mucho mayores de lo que imaginamos.

México y su incursión en el espacio

Hablemos ahora de nuestro país y de la participación de la UNAM en el campo espacial. Una contribución importante fue UNAMSAT, un desarrollo realizado durante la década de los noventa en la Universidad Nacional Autónoma de México. Este

proyecto, impulsado desde el Instituto de Astronomía, tuvo entre sus objetivos estudiar el ingreso de meteoroides a la atmósfera terrestre y analizar los procesos asociados con su desintegración.



Fuente: Archivos del Programa Espacial Universitario, Satélite UNAM-Sat.

El UNAMSAT tenía un peso aproximado de 17 kilogramos y, para ser colocado en órbita, contó con apoyo de Rusia. Aunque su tiempo de operación fue limitado, logró transmitir información relevante y representó uno de los primeros esfuerzos espaciales universitarios desarrollados en México.

UNAMSAT fue un paso fundamental para el desarrollo espacial mexicano y un importante antecedente para futuras iniciativas científicas y tecnológicas nacionales. Como ocurre con muchos proyectos espaciales pioneros, su verdadero valor radicó no solo en los resultados inmediatos obtenidos, sino también en la experiencia adquirida, la formación de recursos humanos especializados y la capacidad de demostrar que en México era posible participar en desarrollos espaciales de alta complejidad tecnológica. Con el paso del tiempo, UNAMSAT ha sido reconocido como un esfuerzo visionario que abrió camino a nuevos proyectos y

fortaleció el interés nacional por la investigación y la tecnología espacial.

Años después, en 2019, se concretó otro importante proyecto espacial mexicano: AzTechSat-1, al que diversos medios de comunicación llegaron a presentar como el primer satélite mexicano, olvidando experiencias previas como la de UNAMSAT y otros desarrollos nacionales menos conocidos. Sin embargo, la historia espacial de México incluye muchos más proyectos, esfuerzos académicos y experiencias tecnológicas que con frecuencia reciben poca difusión y terminan siendo poco recordados.

También es importante mencionar al Observatorio Astronómico Nacional, ubicado en la Sierra de San Pedro Mártir, en Ensenada, Baja California, donde la UNAM desempeña un papel fundamental en el desarrollo de investigaciones astronómicas de alto nivel.

Uno de los proyectos más relevantes realizados en colaboración entre la NASA, la Universidad de California en Berkeley y la UNAM estuvo relacionado con el estudio de destellos de rayos gamma, fenómenos asociados con algunas de las explosiones más energéticas del universo. La participación mexicana incluyó el desarrollo e implementación de instrumentación astronómica especializada capaz de observar este tipo de eventos desde Tierra. Se trató de un proyecto de enorme relevancia científica, ya que permitió contribuir al entendimiento de fenómenos extremos del universo y demostrar la capacidad tecnológica y científica desarrollada en México.

Este tipo de proyectos refleja las distintas formas de colaboración necesarias para concretar investigaciones espaciales de gran escala. Algunas instituciones aportan financiamiento, otras, infraestructura y otras más contribuyen mediante el desarrollo tecnológico y la generación de conocimiento científico especializado.

Una de las grandes certezas en torno a la exploración espacial y al estudio del universo es que requieren inversiones muy importantes. Tanto el desarrollo tecnológico como la construcción, operación y aprovechamiento de estos instrumentos científicos demandan enormes cantidades de recursos, talento humano y cooperación internacional.

Algunos ejemplos de desarrollo, inversión y servicios que prestan ciertos proyectos espaciales, con un costo considerable, son los siguientes:

- Telescopio Espacial James Webb

Es considerado uno de los instrumentos científicos más complejos y avanzados jamás construidos por la humanidad. Fue desarrollado conjuntamente por la NASA, la Agencia Espacial Europea (ESA) y la Agencia Espacial Canadiense (CSA), y lanzado en diciembre de 2021. Actualmente se encuentra ubicado a aproximadamente 1.5 millones de kilómetros

de la Tierra, en una región conocida como el punto de Lagrange L2.

El James Webb es reconocido como el principal observatorio espacial de nueva generación y se encuentra al servicio de miles de astrónomos e investigadores de todo el mundo. El acceso a su tiempo de observación se realiza mediante rigurosas convocatorias científicas internacionales, altamente competitivas, debido a la enorme demanda existente para utilizarlo. Aunque el uso científico del telescopio no se comercializa directamente por hora, diversos cálculos y estimaciones sobre sus costos de operación permiten dimensionar que cada hora efectiva de observación representa decenas de miles de dólares en infraestructura, operación y procesamiento de datos.

Se estima que el desarrollo, construcción y lanzamiento del telescopio tuvo un costo cercano a los 10 mil millones de dólares, lo que permite

dimensionar la enorme inversión económica, tecnológica y humana que implica estudiar el espacio y el universo. Sin embargo, los descubrimientos y observaciones obtenidos por el James Webb están transformando profundamente el conocimiento que tenemos sobre galaxias, estrellas, atmósferas planetarias y el origen mismo del universo.

- Telescopio Espacial Hubble

Es uno de los instrumentos más reconocidos de la astronomía moderna y recibió su nombre en honor al astrónomo Edwin Hubble. Fue lanzado en abril de 1990 y desde entonces permanece orbitando la Tierra, realizando observaciones astronómicas de enorme relevancia científica.

El Hubble se caracteriza por obtener imágenes con una resolución extraordinaria, las cuales han permitido transformar el conocimiento que tenemos sobre galaxias, nebulosas, estrellas y la expansión del universo. Muchas de las imágenes más

emblemáticas del espacio profundo han sido obtenidas por este telescopio.

Al igual que ocurre con el Telescopio Espacial James Webb, investigadores y estudiantes de distintas partes del mundo pueden solicitar tiempo de observación para utilizarlo, siempre cumpliendo con rigurosos requisitos científicos y protocolos internacionales de evaluación.

- Gran Telescopio de Canarias

Es uno de los telescopios óptico-infrarrojos más grandes y avanzados del mundo. Su enorme capacidad para captar luz permite realizar estudios extremadamente precisos sobre galaxias, estrellas, exoplanetas y otros objetos muy distantes del universo.

La dinámica para que investigadores externos puedan utilizar este telescopio es distinta a la de otros observatorios espaciales, ya que el acceso se

realiza mediante convocatorias científicas internacionales y asignación competitiva de tiempo de observación.

México participa en este importante proyecto astronómico, lo que permite que investigadores nacionales puedan desarrollar observaciones y proyectos científicos utilizando esta infraestructura de primer nivel. Tuve la oportunidad de colaborar ahí, y fue una experiencia muy importante tanto desde el punto de vista científico como tecnológico.

- Observatorio Astronómico Nacional (OAN-SPM)

El Observatorio Astronómico Nacional (OAN), particularmente su sede en la Sierra de San Pedro Mártir (SPM), es una de las instituciones científicas más importantes de México dedicadas al estudio del universo y depende del Instituto de Astronomía de la UNAM. El OAN cuenta también con otra sede

en Tonantzintla, Puebla, establecida en 1951 y considerada como la sede histórica del observatorio.

Debido a las condiciones atmosféricas y geográficas de la Sierra de San Pedro Mártir, el OAN-SPM es reconocido como uno de los mejores sitios del hemisferio norte para la observación astronómica. Esto ha permitido desarrollar importantes investigaciones nacionales e internacionales, además de impulsar colaboraciones científicas de alto nivel.

Tanto el observatorio como el Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir pueden ser visitados por el público, siempre y cuando se respeten las políticas de acceso, agenda y seguridad establecidas. Asimismo, los telescopios e instrumentos del observatorio ofrecen tiempo de observación para astrónomos e investigadores, una vez que sus propuestas científicas han sido evaluadas y aprobadas por los comités correspondientes.

Estos ejemplos permiten dimensionar tanto el enorme interés humano por comprender el cosmos como los importantes recursos científicos, tecnológicos y económicos que se requieren para desarrollar la infraestructura necesaria para estudiarlo y conocerlo.

Basura espacial

Aunado al interés por el conocimiento del universo, también se han generado diversos problemas. Uno de ellos es la basura o contaminación espacial, fenómeno que los telescopios y sistemas de monitoreo han permitido identificar con mayor precisión. Se trata de una gran cantidad de objetos que los seres humanos hemos enviado al espacio y que permanecen ahí, orbitando alrededor de la Tierra.

Si nos remontamos a la historia, desde el lanzamiento del Sputnik 1 en 1957, son miles los objetos artificiales colocados en órbita que actualmente están inactivos o que ya no cumplen ninguna

función, pero continúan desplazándose alrededor de nuestro planeta. La Agencia Espacial Europea estima que aproximadamente el 50 por ciento de los satélites lanzados desde entonces ya no se encuentran en operación.

La basura espacial también incluye fragmentos generados por colisiones, herramientas perdidas, satélites fuera de servicio, partes de cohetes y muchos otros objetos que siguen orbitando en el espacio. El riesgo que representan es considerable, ya que algunos se desplazan a velocidades de hasta 56 mil kilómetros por hora. Además de generar tráfico orbital, pueden provocar impactos contra satélites activos o misiones tripuladas, afectando potencialmente servicios esenciales como las telecomunicaciones, la navegación y los sistemas GPS.

Estados Unidos concentra actualmente la mayor cantidad de objetos asociados con basura espacial; le siguen Rusia y China. Empresas

privadas como Starlink también han incrementado significativamente el número de objetos en órbita. De igual forma, Japón, India, la Comunidad Europea e incluso México —aunque en mucho menor medida— han contribuido a esta creciente contaminación espacial.

La basura espacial representa un problema cada vez más crítico que requiere atención, regulación y mecanismos internacionales de coordinación. Y es justamente este escenario el que permite adentrarnos en las normas, acuerdos y sistemas de gobernabilidad existentes para regular lo que sucede en el espacio.

Gobernabilidad en el espacio

El año 1967 fue decisivo en materia de regulación espacial porque, ante el creciente interés por la exploración y el desarrollo tecnológico vinculado con el espacio, entró en vigor el Tratado sobre el espacio ultraterrestre o Tratado del espacio exterior (Outer

Space Treaty, OST). El nombre completo de este documento es: Tratado sobre los principios que deben regir las actividades de los Estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes, elaborado en el marco de la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

Inicialmente fue firmado por Estados Unidos, Reino Unido y la Unión Soviética el 27 de enero de 1967, entrando en vigor el 10 de octubre de ese mismo año. Desde entonces, más de un centenar de países lo han ratificado y otros más, aunque lo han firmado, aún no concluyen formalmente su ratificación.

El OST es considerado la base del derecho internacional espacial y su relevancia radica en establecer que el espacio ultraterrestre no puede ser objeto de apropiación nacional y debe utilizarse en beneficio de toda la humanidad. Asimismo, estipula que la exploración y utilización del espacio debe realizarse con fines pacíficos; prohíbe colocar armas

nucleares o de destrucción masiva en órbita o sobre cuerpos celestes; y también impide la apropiación nacional del espacio ultraterrestre (Kopal, 2009).

Previo a la firma de este tratado, desde 1959 ya se había creado la Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos — COPUOS, por sus siglas en inglés—, organismo que continúa activo hasta la fecha. Desde entonces, la COPUOS ha impulsado acuerdos y discusiones internacionales orientadas a mantener el carácter pacífico del espacio; sin embargo, aún persisten importantes debates sobre el acceso equitativo al espacio, las capacidades reales que tienen los distintos países para participar en él y las regulaciones que todavía hacen falta frente al acelerado desarrollo tecnológico y comercial de las actividades espaciales.

Primera sesión del Comité Jurídico sobre la utilización pacífica del espacio ultraterrestre 26 de mayo de 1959



Fuente: Biblioteca Audiovisual de Derecho Internacional. Sede de la ONU, Nueva York. Organización de las Naciones Unidas. <https://legal.un.org/avl/ha/tos/tos.html>

El Tratado del Espacio Exterior es un documento relevante que consigna principios fundamentales, como señalar en su artículo I que “la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes, deberán hacerse en provecho y en interés de todos los países, sea cual fuere su grado de desarrollo económico y científico, e incumben a toda la humanidad” (OST, 1967). Asimismo,

establece que el espacio ultraterrestre deberá utilizarse con fines pacíficos.

El tratado autoriza la exploración, la investigación científica, el fomento a la cooperación internacional y el libre acceso a todas las zonas del espacio exterior, la Luna y otros cuerpos celestes para todos los Estados, en condiciones de igualdad y de conformidad con el derecho internacional, en beneficio de la paz y la seguridad internacionales.

Si bien, el documento plantea principios de equidad para el acceso al espacio exterior, también es evidente que las posibilidades reales no son las mismas entre países en desarrollo y las grandes potencias espaciales. En términos prácticos, son pocos los Estados que disponen de los recursos económicos, científicos y tecnológicos necesarios para acceder al espacio exterior, la Luna y otros cuerpos celestes. Esto ha propiciado que determinadas potencias y empresas privadas concentren gran

parte de las capacidades vinculadas con la exploración y utilización del espacio.

El OST también establece que ningún Estado puede apropiarse de la Luna, Marte o cualquier otro cuerpo celeste, y señala que los Estados son responsables de las actividades desarrolladas por sus entidades privadas y empresas. Sin embargo, frente al acelerado crecimiento de las actividades espaciales, algunos aspectos del tratado podrían requerir revisiones y actualizaciones, por ejemplo, en temas relacionados con la basura espacial y la creciente saturación orbital.

El artículo IX señala que los Estados parte podrán establecer estaciones habitadas o no habitadas en la Luna y otros cuerpos celestes, utilizando únicamente el espacio necesario para sus actividades. También establece la obligación de notificar al Secretario General de la ONU sobre la ubicación y propósito de dichas estaciones, así como informar

posteriormente sobre cualquier modificación relevante en sus actividades.

De igual manera, el tratado indica que estas instalaciones deberán desarrollarse de forma que no interfieran con el libre acceso de otros Estados, su personal, vehículos o equipos que también realicen actividades espaciales. Aun con la existencia del Tratado del Espacio Exterior, actualmente persisten diversos desafíos y problemas relacionados con la gobernabilidad espacial.

Más sobre la basura espacial

Como mencioné, la basura espacial representa un problema creciente cuya principal preocupación es el uso mismo del espacio ultraterrestre, en ocasiones tratado como si fuera un territorio sin regulación suficiente, donde pareciera que todo puede hacerse sin mayores consecuencias...

Comparto una situación que resulta particularmente ilustrativa. En 2018, una empresa aeroespacial privada lanzó un automóvil al espacio como parte de una prueba tecnológica. Más allá del impacto mediático que generó, este hecho abrió nuevamente el debate sobre los límites, responsabilidades y regulaciones relacionadas con el uso del espacio exterior. Si una empresa dispone de los recursos económicos y tecnológicos suficientes, puede llevar a cabo lo que se proponga, ya que actualmente son pocos los mecanismos internacionales efectivos destinados a limitar ciertas acciones o a sancionar sus consecuencias.

Esa misma empresa ha manifestado también su interés en desarrollar proyectos vinculados con la exploración y eventual aprovechamiento de recursos en Marte. Y es precisamente aquí donde surgen preocupaciones importantes sobre gobernabilidad, desigualdad y posibles formas de dominio o apropiación de un entorno que, de acuerdo con

los tratados internacionales, pertenece a toda la humanidad.

El acelerado desarrollo tecnológico y comercial de las actividades espaciales hace cada vez más evidente la necesidad de fortalecer las regulaciones internacionales, particularmente frente al creciente uso privado del espacio ultraterrestre y al impacto que estas actividades podrían generar a futuro.

Explotación de recursos

Sin duda, una de las actividades más conocidas relacionadas con el aprovechamiento del espacio es la minería espacial, que consiste en la posible extracción de minerales presentes en asteroides y otros cuerpos celestes. Pero no se trata únicamente de minerales: también existe un enorme interés por recursos como el agua lunar y el helio-3, un isótopo poco común con potenciales aplicaciones futuras en tecnologías de fusión nuclear.

El Tratado del Espacio Exterior (OST) no establece con claridad los límites relacionados con la explotación y comercialización de recursos espaciales. Ante esta situación, países como Estados Unidos y Luxemburgo han aprobado legislaciones nacionales que permiten a sus empresas participar en actividades vinculadas con el aprovechamiento comercial de recursos obtenidos en el espacio. En el caso de Estados Unidos, en 2015 se promulgó la Ley de Competitividad de Lanzamientos Espaciales Comerciales (Space Act 2015), orientada precisamente al desarrollo comercial de este sector.

El interés económico detrás de estas actividades es enorme. Por ejemplo, desarrollar infraestructura en la Luna podría facilitar futuras misiones espaciales debido a que la gravedad lunar es considerablemente menor que la terrestre, reduciendo los costos energéticos necesarios para nuevos lanzamientos. Además, la presencia de agua en regiones lunares representa un recurso estratégico tanto para

la supervivencia humana como para la posible producción de combustible espacial.

En el caso del helio-3, existe interés científico debido a su potencial uso futuro en reactores de fusión nuclear. Aunque en la Tierra este elemento es extremadamente escaso, se considera que podría encontrarse en mayores cantidades en la superficie lunar como resultado de la interacción constante con el viento solar. Sin embargo, su aprovechamiento tecnológico todavía enfrenta importantes desafíos científicos y de ingeniería.

Todo esto abre preguntas fundamentales sobre gobernabilidad espacial: ¿quién regula estas actividades?, ¿quién controla los recursos obtenidos?, ¿quiénes se beneficiarán realmente de ellos?, y ¿de qué manera podrían distribuirse de forma equitativa los beneficios derivados del aprovechamiento del espacio? Porque, aunque el OST establece que el espacio debe utilizarse en beneficio de toda la

humanidad, en la práctica las capacidades tecnológicas y económicas para acceder a estos recursos siguen concentradas en muy pocos países y empresas.

Militarización y seguridad

En términos estratégicos y militares, con frecuencia se afirma que el espacio representa el último gran campo de disputa geopolítica. Por ello, la vigilancia espacial —aunque oficialmente se enfoca en el monitoreo y estudio de satélites y objetos en órbita— también tiene importantes implicaciones relacionadas con la seguridad internacional.

No hay que olvidar que durante la Guerra Fría el espacio exterior, sus posibilidades tecnológicas y sus ventajas estratégicas constituyeron un tema altamente sensible para la seguridad global. Existía una preocupación permanente sobre el uso de satélites espía, sistemas de vigilancia y tecnologías con posibles aplicaciones militares.

Actualmente, el espacio ultraterrestre es fundamental para las telecomunicaciones, la navegación, los sistemas GPS y una enorme cantidad de servicios que utilizamos cotidianamente en prácticamente todo el planeta. Esta dependencia tecnológica hace que cualquier conflicto o tensión vinculada con la infraestructura espacial tenga repercusiones directas sobre la vida moderna.

El Tratado del Espacio Exterior prohíbe explícitamente la colocación de armas nucleares o de destrucción masiva en órbita o sobre cuerpos celestes; sin embargo, mantiene ambigüedades respecto al uso de determinadas tecnologías militares y armas convencionales en el espacio, situación que continúa generando tensiones geopolíticas y nuevos debates sobre seguridad y gobernabilidad espacial.

Normas técnicas y coordinación

Aunque no siempre lo percibamos con claridad, cada vez existe una mayor cantidad de objetos espaciales

orbitando alrededor de la Tierra, lo que también refleja el incremento de la participación de distintos Estados y empresas privadas en actividades espaciales. Esta situación requiere de importantes mecanismos de coordinación internacional, particularmente para el uso del espectro de frecuencias electromagnéticas, con el propósito de evitar interferencias que puedan poner en riesgo la operación de satélites y sistemas de comunicación.

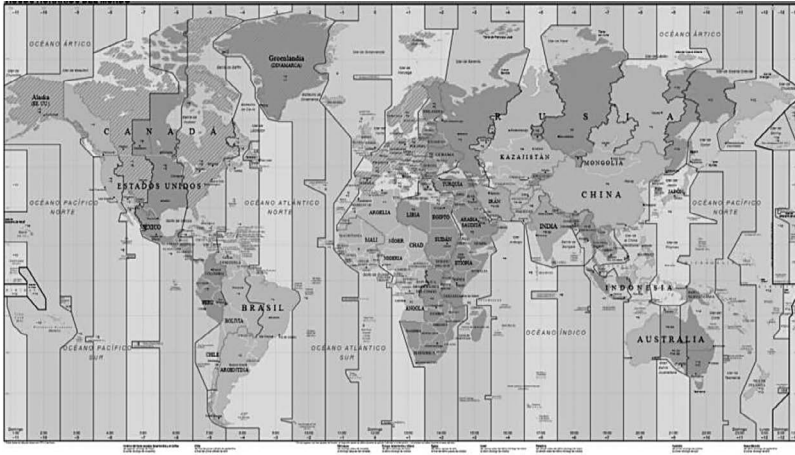
La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es una agencia especializada de la ONU encargada de coordinar aspectos relacionados con las tecnologías de la información y las telecomunicaciones. Entre sus funciones más importantes se encuentra la gestión del espectro radioeléctrico y la coordinación de las órbitas satelitales utilizadas por distintos países y operadores. Sin embargo, como ocurre con otros organismos internacionales, sus capacidades para imponer sanciones o mecanismos

coercitivos son limitadas frente al acelerado crecimiento de las actividades espaciales.

Sin duda, se trata de una coordinación extremadamente compleja. Basta recordar la enorme dificultad histórica que representó establecer acuerdos internacionales relacionados con los husos horarios y la medición del tiempo. Incluso hoy, muchos países modifican sus horarios por razones políticas, económicas, energéticas o estratégicas.

Si alcanzar consensos globales sobre algo tan cotidiano como la organización del tiempo requirió siglos de ajustes y coordinación internacional, resulta inevitable dimensionar la complejidad que implica regular el espacio exterior, particularmente en un contexto donde la iniciativa privada tiene cada vez mayor presencia, capacidad tecnológica e influencia económica.

Mapa de husos horarios del mundo



Fuente: Información de zona horaria basada en la base de datos de zonas horarias de la Autoridad de Números Asignados de Internet (IANA). Dominio público (2026).

Lo que resulta indispensable es disponer de regulaciones precisas y mecanismos de coordinación eficientes, ya que el creciente tráfico espacial requiere de una administración extremadamente cuidadosa. Sin embargo, muchos de los sistemas actuales de coordinación y control continúan operando de manera limitada y, en algunos casos, poco transparente. No siempre queda claramente identificado quiénes son los responsables directos de la supervisión,

regulación o eventual sanción de determinadas actividades espaciales.

Comparto un ejemplo. El trámite que México —y prácticamente cualquier país— debe realizar para solicitar y registrar frecuencias destinadas a telecomunicaciones satelitales suele requerir largos periodos de gestión, que pueden extenderse entre cuatro y siete años. Ante esta situación, resulta inevitable preguntarse si las condiciones realmente son iguales para todos los países o si las grandes potencias y sus estructuras militares operan bajo dinámicas distintas cuando se trata del uso estratégico de determinadas frecuencias y sistemas espaciales.

Más allá de las regulaciones existentes, persisten numerosas interrogantes sobre la vigilancia, supervisión y cumplimiento efectivo de las normas internacionales. En distintos contextos se han señalado posibles interferencias, bloqueos de señales y usos estratégicos de frecuencias relacionadas con

conflictos geopolíticos y militares. Sin embargo, para la mayoría de estas situaciones existe muy poca claridad pública respecto a quién investiga, quién regula y cuáles son las consecuencias reales de este tipo de acciones.

Todo esto evidencia que la gobernabilidad espacial continúa siendo uno de los grandes desafíos contemporáneos, particularmente frente al acelerado desarrollo tecnológico y al creciente número de actores públicos y privados involucrados en las actividades espaciales.

Los números

A pesar de los principios de equidad que el OST establece para el acceso al espacio, solo las grandes potencias y algunas empresas con capacidad tecnológica y financiera son quienes pueden hacerlo, ya que los programas espaciales y su desarrollo requiere de gran inversión.

Determinar con exactitud los costos reales, los financieros y los beneficios esperados de muchos de estos proyectos suele ser complicado ya que muchos provienen de capitales privados e internacionales y no solo de recursos públicos. Incluso dentro de diversos programas científicos existen protocolos estrictos de confidencialidad relacionados con información técnica, presupuestal y estratégica.

Para ejemplificar lo anterior, comparto que en el programa universitario en el que colaboro actualmente se desarrollan varios proyectos satelitales. Como ocurre en muchos programas espaciales contemporáneos, quienes participan en determinadas etapas deben firmar acuerdos de confidencialidad relacionados con aspectos técnicos, financieros y de desarrollo tecnológico. Esto hace muy difícil conocer o dimensionar públicamente la inversión total involucrada en este tipo de iniciativas.

Aunque siempre es posible encontrar información y estimaciones en internet sobre costos e inversiones espaciales, no resulta sencillo verificar su exactitud o confiabilidad. Por ello, en este ámbito se requiere actuar con responsabilidad, seriedad y discreción profesional, especialmente cuando se trabaja en proyectos científicos y tecnológicos de alta especialización.

Lo que sí resulta evidente es que las inversiones destinadas al desarrollo espacial son enormes y continúan creciendo. Y si gobiernos y empresas privadas están dispuestos a invertir cantidades tan importantes de recursos, es porque consideran que el espacio representa no solo una oportunidad científica y tecnológica, sino también un ámbito estratégico de enorme relevancia económica y geopolítica para el futuro.

Misión Ixtli, constelación de satélites

Una excelente decisión adoptada por México es el impulso del proyecto Misión Ixtli, que consiste en el desarrollo y puesta en órbita de una serie de satélites —lo que conocemos como una constelación de satélites— completamente mexicanos, diseñados y fabricados en nuestro país. Misión Ixtli tiene como objetivo principal reducir la dependencia que tenemos de datos satelitales generados por otros países y permitir que México se posicione como un actor relevante en la dinámica espacial global. Esto significa que, con esta constelación de satélites, México tendrá mayor soberanía sobre la observación de nuestro territorio nacional y de nuestros recursos naturales, como los bosques y el agua; además, podrá monitorear incendios, actividades agrícolas y mineras y, por supuesto, fortalecer tareas relacionadas con la seguridad nacional. Esto resulta especialmente importante porque actualmente gran parte de las imágenes satelitales de nuestro territorio provienen de sistemas extranjeros y, aunque se paga por

ellas, seguimos dependiendo de infraestructura desarrollada fuera de nuestro país.

Son muchos los recursos públicos que cada año el gobierno de México destina para disponer de imágenes satelitales necesarias para distintos usos y aplicaciones. Por ello, Misión Ixtli representa una oportunidad estratégica para avanzar hacia una mayor autonomía tecnológica y científica mediante el desarrollo de satélites propios.

Ha sido muy satisfactoria esta iniciativa porque, después de la intensa actividad que México tuvo durante las décadas de los sesenta y setenta del siglo XX en materia de desarrollo espacial, este campo experimentó un importante periodo de desaceleración. Por eso resultó especialmente relevante que el gobierno federal convocara tanto a la UNAM como al Instituto Politécnico Nacional (IPN) para proponer, por primera vez, un proyecto satelital integral para México. En el caso de la UNAM, esta

invitación surge también como resultado de la trayectoria del Programa Espacial Universitario (PEU), que durante años ha impulsado la enseñanza, la investigación, el desarrollo tecnológico y la realización de actividades académicas y de divulgación con reconocimiento nacional e internacional.

La coordinación de Misión Ixtli está a cargo de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti) y de la Agencia Espacial Mexicana (AEM). También participan instituciones como el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP). Asimismo, colaboran la Secretaría de la Defensa Nacional (Sedena), la Secretaría de Marina (Semar) y diversas instituciones federales relacionadas con protección civil, entre muchas otras dependencias que potencialmente se beneficiarán de las capacidades de esta constelación satelital.

Misión Ixtli requiere una inversión significativa para el diseño, construcción, puesta en órbita y operación de los satélites; sin embargo, sus aplicaciones y beneficios potenciales para el país son enormes.

Para terminar, y después de todo este recuento, resulta evidente que aún queda mucho por hacer en relación con el espacio y el universo. Son muchos los retos que deben atenderse y que involucran una gran diversidad de áreas de especialización y conocimiento. Entre ellos destaca, de manera muy importante, la necesidad de fortalecer y actualizar la legislación y la gobernabilidad espacial. Solo así será posible lograr, como sin duda lo imaginaron los creadores del Tratado del Espacio Exterior, que el espacio ultraterrestre, la Luna y los demás cuerpos celestes generen beneficios para toda la humanidad.

Referencias

COPUOS (2026) Comisión sobre la Utilización del Espacio Ultraterrestre con Fines Pacíficos Committee on the Peaceful Uses of Outer Space United Nations, Office for outer space affairs <https://www.unoosa.org/oosa/en/ourwork/copuos/>

ESA, EUROPEAN Space Agency(s/f)Cometa67P/Churyumov-Gerasimenko[https://www-esa-int.translate.goog/Science Exploration/Space Science/Rosetta/Comet 67P Churyumov-Gerasimenko? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr pto=tc](https://www-esa-int.translate.goog/Science%20Exploration/Space%20Science/Rosetta/Comet%2067P%20Churyumov-Gerasimenko?x_tr_sl=en&x_tr_tl=es&x_tr_hl=es&x_tr_pto=tc)

ESA, EUROPEAN Space Agency (2009) Rosetta - Resumen de la misión - (Factsheet) Noviembre 13, 2009 [https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/Rosetta - Resumen de la mision - Factsheet](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/Rosetta_-_Resumen_de_la_mision_-_Factsheet)

GAIA OVERVIEW (2004) European Space Agency, ESA. https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Gaia_overview

NASA (2009) New Celestial Map Gives Directions for GPS https://ivscc.gsfc.nasa.gov/program/iya09/ICRF2_NASAnews.pdf

NASA (2018) Kepler's Legacy, Discoveries and more. <https://science.nasa.gov/exoplanets/keplerscience/>

NASA (2022) Voyager, la misión más longeva de la NASA, cumple 45 años en el espacio Equipo de redacción de Ciencia, 19 de Agosto, 2022 <https://ciencia.nasa.gov/sistema-solar/voyager-cumple-45-en-el-espacio/>

OBSERVATORIO ASTRONÓMICO Nacional-Sierra de San Pedro Mártir, OAN-SPM (s/f) Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) <https://astronomia.unam.mx/observatorio-spm/>

PÉREZ SÁNCHEZ, Ana Luisa (2022) Gaia: una nueva visión de la vía láctea UNAM Global, Revista https://unamglobal.unam.mx/global_revista/gaia-una-nueva-vision-de-la-via-lactea/

REVISTA SCIENCE (2015) Philae's first look. Reporting back from Surface of comet 67P Volumen 349|Número 6247|Julio 31,2015 <https://www.science.org/toc/science/349/6247>

TELESCOPIO ESPACIAL James Webb (s/f) Ciencia NASA <https://ciencia.nasa.gov/mission/webb/>

TRATADO DEL espacio exterior, OST (1967) 2222 (XXI). Tratado sobre los principios que deben regir las actividades de los Estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes. Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del

Espacio Ultraterrestre, UNOOSA 1499a. sesión plenaria. Diciembre 19, 1966 https://www.unoosa.org/pdf/gares/ARES_21_2222S.pdf

KOPAL, VLADIMIR (2009) Comentarios sobre el Tratado sobre los principios que deben regir las actividades de los estados en la exploración y utilización del espacio ultraterrestre, incluso la Luna y otros cuerpos celestes. United Nations Audiovisual Library of International Law. United Nations, 2009. https://legal.un.org/avl/pdf/ha/tos/tos_s.pdf

Semblanza

ALEJANDRO FARAH SIMON es ingeniero mecánico y doctor en Ingeniería por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Desde 2001 es académico del Instituto de Astronomía de la UNAM, donde desarrolla actividades de investigación, innovación tecnológica y diseño mecánico aplicadas a la instrumentación astronómica y espacial. Actualmente también se desempeña como Secretario de Educación y

Divulgación del Programa Espacial Universitario de la UNAM.

Su trabajo se ha centrado en el desarrollo de instrumentación científica de alta precisión para aplicaciones astronómicas y espaciales, particularmente en el diseño optomecánico, criogénico y estructural de sistemas avanzados de observación.

Su tesis doctoral fue distinguida con el Premio Weizmann-Kahn 2009 en el área de Ingeniería y Tecnología, otorgado por la Academia Mexicana de Ciencias y la Asociación Mexicana de Amigos del Instituto Weizmann de Ciencias. En 2014 recibió el Reconocimiento Distinción Universidad Nacional para Jóvenes Académicos de la UNAM.

Formó parte del equipo multinacional responsable de la construcción del Gran Telescopio Canarias (GTC), en las Islas Canarias, España, participando en el diseño optomecánico de la

cámara del instrumento OSIRIS, uno de los espectrógrafos de nueva generación instalados en dicho observatorio.

Asimismo, ha participado activamente en iniciativas de desarrollo espacial en México y en actividades vinculadas con la consolidación del sector espacial nacional.

Entre 2012 y 2017 colaboró con la Universidad de California en Berkeley y con la NASA en el desarrollo del instrumento RATIR (Reionization and Transients Infrared Camera), instalado en el Observatorio Astronómico Nacional en Sierra San Pedro Mártir, Baja California, cuyo objetivo es el estudio de fenómenos transitorios de alta energía, como explosiones de supernovas y fusiones de estrellas de neutrones.

Desde 2013 encabeza el Curso-Concurso de Construcción de Satélites Enlatados (CanSat),

iniciativa pionera en México e Iberoamérica orientada a la formación de estudiantes en tecnologías espaciales y aeroespaciales, con la que ha contribuido a la capacitación de miles de jóvenes.

Actualmente trabaja en el desarrollo de sistemas optomecánicos de alta resolución para astronomía, así como en proyectos de nanosatélites y misiones espaciales mexicanas enfocadas en observación de la Tierra, desarrollo tecnológico y formación de recursos humanos especializados.

Gobernabilidad en el espacio

Editado por el Seminario Universitario de Gobernabilidad y Fiscalización de la Universidad Nacional Autónoma de México. Se terminó en junio de 2026. La diagramación y formación de páginas así como la corrección de textos la realizó Formas e Imágenes. La edición, integración y corrección de la primera revisión de textos estuvo al cuidado de la maestra Cristina Barajas Rocha, secretaria técnica del Seminario Universitario de Gobernabilidad y Fiscalización.

El interés por el Universo es una constante en la humanidad y, su estudio, además de satisfacer la curiosidad, ha permitido la exploración, conocimiento e incluso, el acceso a otros planetas. Estos avances han provocado el lanzamiento y puesta en órbita de miles de sondas y satélites espaciales que, hoy son necesarios para disponer de servicios indispensables; sin embargo, no todo lo que sucede en el espacio exterior es dado a conocer ni mucho menos se han abordado los riesgos y las posibles áreas de negocios y sus consecuencias, así como la normatividad existente para ordenar la exploración y usufructo de todo lo existente. Para acercarnos a esta condición que involucra tecnología, inversión y regulación, el doctor Alejandro Farah Simón, destacado investigador del Instituto de Astronomía de la UNAM, comparte una amplia visión sobre muchos de los aspectos relacionados con el espacio que, ayudan a identificar los ámbitos que demandan establecer la gobernabilidad en el espacio.

Dr. Alfredo Adam Adam
Coordinador del Seminario Universitario
de Gobernabilidad y Fiscalización



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN
SEMINARIO UNIVERSITARIO DE GOBERNABILIDAD Y FISCALIZACIÓN
<http://sug.unam.mx/>